

P 3835

ISSN 0395-7217

Octobre 1977

Trimestriel

fascicule 3

BULLETIN

D'ÉCOLOGIE



MASSON

Paris, New York, Barcelone, Milan

Publié avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique
et de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique

Tome 8

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

(Reconnue d'utilité publique par décret du 31 mars 1976)

Secrétariat : 4, avenue du Petit Château, 91800 BRUNOY.

(Voir en p. III de couverture pour le règlement des cotisations à MASSON & C^{ie}).

Bureau pour l'année 1977 :

Président : J.A. RIOUX, Laboratoire de Parasitologie, rue Auguste Broussonet, 34000 Montpellier.

Vice-Président : P. PESSON, I.N.A., Laboratoire de Zoologie, Biologie animale et Ecologie, 16, rue Claude-Bernard, 75231 Paris, Cedex 05.

Présidents Honoraires : G. LEMÉE et P. GRISON.

Secrétaire général : Claude DELAMARE DEBOUTTEVILLE, Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du Petit-Château, 91800 Brunoy (Essonne).

Secrétaire générale adjointe : Germaine RICOU, Laboratoire de Zoologie agricole, 16, rue Dufay, 76100 Rouen (Seine-Maritime).

Trésorier : Christian SOUCHON, Département d'Environnement, Université de Paris VII, 10, rue Emile-Morel, 92330 Sceaux (Hauts-de-Seine).

Trésorier adjoint : Mme Marie-Charlotte SAINT GIRONS, Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du Petit-Château, 91800 Brunoy (Essonne).

Secrétaire du Bulletin : Roger DAJOZ, Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du Petit Château, 91800 Brunoy (Essonne).

Conseil pour l'année 1977 :

AMANIEU M., Laboratoire d'hydrobiologie, Université des Sciences et techniques du Languedoc, Place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

AUBERT Maurice, Directeur du CERBOM, Parc de la Côte, avenue Jean-Lorrain, 06000 Nice (Alpes-Maritimes).

BIGOT Louis, Laboratoire de Biologie animale et Ecologie, Faculté Saint-Jérôme, rue Henri-Poincaré, 13397 Marseille Cedex 4 (Bouches-du-Rhône).

BLONDEL Jacques, Station Biologique de la Tour du Valat, C.N.R.S., Le Sambuc, 13200 Arles (Bouches-du-Rhône).

COINEAU Yves, Laboratoire Arago, Biologie marine 66650 Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales).

DAJOZ R., Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du Petit Château, 91800 Brunoy.

DELAMARE DEBOUTTEVILLE Claude, Laboratoire Ecologie générale, 4, avenue du Petit-Château, 91800 Brunoy (Essonne).

GEHU Jean-Marie, Laboratoire de Botanique Systématique et Ecologie, Faculté de Pharmacie, rue La-guesse, 59000 Lille (Nord).

GOUNOT Michel, Institut de Botanique, 28, rue Goethe, 67083 Strasbourg (Bas-Rhin).

LACOSTE Alain, Laboratoire d'écologie végétale, 1, place Leclerc, 25042 Besançon Cedex.

LAUBIER Lucien, Directeur Scientifique au C.N.E.X.O., Centre océanologique de Bretagne, BP 337, 29273 Brest-Cedex (Finistère).

LEFEUVRE Jean-Claude, Laboratoire de Zoologie et d'Ecologie Complexe Scientifique de Beaulieu, BP 25 A, 35000 Rennes (Ille-et-Vilaine).

NÈGRE Robert, Laboratoire de Taxinomie et Ecologie végétales, Faculté Saint-Jérôme, rue Henri-Poincaré, 13397 Marseille Cedex 4 (Bouches-du-Rhône).

OZENDA Paul, Botanique et Biologie végétale et Station Alpine du Lautaret, Cedex 53, 38 Grenoble-Gare (Isère).

PESSON Paul, I.N.A., Laboratoire de Zoologie, Biologie animale et Ecologie, 16, rue Claude-Bernard, 75231 Paris Cedex 05 (Seine).

RAMADE F., Laboratoire de zoologie, Université de Paris Sud, 91405 Orsay.

RICOU G., Laboratoire de zoologie agricole, 16, rue Dufay, 76100 Rouen.

RIOUX J.A., Laboratoire de parasitologie, rue Auguste Broussonet, 34000 Montpellier.

ROUX Albert, Département de Biologie animale et Zoologie, 43, bd du 11-Novembre 1918, 69621 Villeurbanne (Rhône).

Mme SAINT GIRONS Marie-Charlotte, Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du Petit-Château, 91800 Brunoy (Essonne).

SALVAT Bernard, Laboratoire de Biologie marine et de Malacologie, 55, rue de Buffon 75005 Paris (Seine).

SAUVAAGE Charles, Laboratoire de systématique et Géobotanique méditerranéennes, Institut de Botanique, rue Auguste-Broussonet, 34000 Montpellier.

SOUCHON Christian, Département d'Environnement, Université de Paris-VII, 10, rue Emile-Morel, 92330 Sceaux (Hauts-de-Seine).

TREHEN Paul, Station biologique de Paimpont, 35380 Plélan-le-Grand.

Le Conseil de la Société, par décision de l'Assemblée générale
constitue le Comité de lecture du Bulletin.

Per. G p 86

Octobre 1977
Trimestriel

fascicule 3

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

Reconnue d'utilité publique par décret du 31 mars 1976

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL

4, Avenue du Petit-Château
91800 BRUNOY, Essonne (France)



MASSON

Paris, New York, Barcelone, Milan

Publié avec le concours financier du Centre National de la Recherche Scientifique

Tome 8



Bibliothèque Centrale Muséum



33001004085435

Dw 11588

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

Tome 8 - 1977 - n° 3 - Octobre

Ce fascicule est consacré à la publication des résultats du programme
D.G.R.S.T. "Inculture pyrénéenne" 1972-1976

DOCUMENTS METHODOLOGIQUES PREPARATOIRES A L'AMENAGEMENT DE LA MONTAGNE

Essai d'application à trois régions pyrénéennes : Donezan, Capcir, Cerdagne

P. REY. — Présentation de l'action « Inculture Pyrénéenne » D.G.R.S.T.	203
---	-----

Première partie : L'Expression des modèles

P. REY. — Expression cartographique de modèles dynécologiques en région de montagne	209
M. IZARD. — Comptabilité écologique à moyenne échelle : application à la définition des régions écologiques (Donezan, Capcir, Cerdagne)	219
P. REY. — L'imagerie aérienne et son exploitation en région de montagne	231
A. FABRE. — Quelques aspects de la déprise agricole en région de montagne : application au canton de Quérigut (Ariège)	237
C. ARLES. — Méthode analogique de cartographie de l'ensoleillement théorique journalier	243
P.-J. ROCA. — Une alternative énergétique dans le Donezan-Capcir-Cerdagne : l'énergie solaire	251

Deuxième partie : Les facteurs de sensibilité

B. DONVILLE et Y. GOURINARD. — Possibilités d'intervention géologique en aménagement	261
B. DONVILLE. — L'étude des facteurs du bilan de l'eau en bassins « non organisés »	265
H. DREZET. — Recensement des secteurs d'instabilité géomorphologique et de leurs déterminants	275
C. TOSCA. — Modalités et conséquences de la régression de l'agriculture dans la commune de Quérigut (Ariège)	281

L. LABROUE et C. TOSCA. — Dynamique de la matière organique dans les sols alpins	289
L. LABROUE et C. TOSCA. — La pédogénèse à l'étage alpin. Relations avec l'évolution des versants	299
J. FAYRET, J. DARDENNE, C. MONTANT. — Recherche de signatures mycologiques de divers stades de l'inculture pyrénéenne	317
L. BONNET, P. CASSAGNAU, L. DEHARVENG. — Influence du déboisement et du reboisement sur les biocénoses de Collemboles dans quelques sols pyrénéens	321
C. TOROSSIAN. — Les fourmis rousses des bois (<i>Formica rufa</i>) indicateurs biologiques de dégradation des forêts de montagne des Pyrénées orientales	333
H. DECAMPS et J.-Y. PUJOL. — Influences humaines sur le benthos d'un ruisseau de montagne dans les Pyrénées	349

Troisième partie : L'usage de la montagne, contrainte et réalité

G. SICARD. — Les droits d'usage : histoire, actualité, prospective	361
F. OGE. — Etude sur les droits d'usage dans le Pays de Sault	371
P. REY. — <i>Rapport de synthèse</i> : Réflexion méthodologique préalable à l'aménagement de la montagne	379
CONCLUSION	393
Résumés de thèses	395

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

Tome 8 - 1977 - n° 3 - October

D.G.R.S.T. Plan "Pyrenean Inculture" 1972-76

PRELIMINARIES DOCUMENTS ON THE MOUNTAIN MANAGEMENT

Application to three pyrenean regions : Donezan, Capcir, Cerdagne

P. REY. — Introduction of the subject : "Pyrenean Inculture" D.G.R.S.T.	203
--	-----

PART I : Expression of the models

P. REY. — The cartographic expression of dynecological models in mountain region	209
M. IZARD. — The ecological accounts with a regional scale : application on the definition of ecological regions (Donezan, Capcir, Cerdagne)	219
P. REY. — Aerial imagery and exploitation in a mountain region	231
A. FABRE. — Some aspects of agricultural regression in a mountain region (District of Querigut - Ariège)	237
C. ARLES. — Analogical and cartographical method of theoretical hours of sunshine	243
P.-J. ROCA. — Energy option in Donezan-Capcir-Cerdagne : solar energy	251

PART II : The factors of "sensibility"

B. DONVILLE and Y. GOURINARD. — The principal domains of intervention for a geologist when dealing with the probleme of land-use	261
B. DONVILLE. — The possibilities of evaluating the hydraulic potential in watershed basins	265
H. DREZET. — The areas of geomorphological instability and their causes	275
C. TOSCA. — Modalities and consequences of agricultural regression in the district of Querigut (Ariège)	281
L. LABROUE and C. TOSCA. — Rate of decomposition of organic matter in alpine soils	289

L. LABROUE and C. Tosca. — Alpine soil forming processes in relation with evolution of the slopes	299
J. FAYRET, J. DARDENNE, C. MONTANT. — Investigations about the telluric mycoflora in relation with the degree of agricultural regression in the Pyrenees	317
L. BONNET, P. CASSAGNAU, L. DEHARVENG. — The influence of deforestation and reafforestation on the rupture of biocenotical balance inside collembolan populations of some Pyrenean stations	321
C. TOROSSIAN. — The red wood ant populations (<i>Formica rufa</i>), biological indicators for estimating the level of human aggression in the forests of Pyrenean mountains (P.O.)	333
H. DECAMPS and J.-Y. PUJOL. — Action of human activities on the benthos of a mountain stream. (Pyrenees)	349

PART III: The uses of mountain region, restrictions and reality

G. SICARD. — The local customs : historic, actuality and prospective	361
F. OGE. — The local customs in the region of "Pays de Sault"	371
P. REY. — <i>Synthetic report</i> : Comment about preliminary method referring to mountain management	379
CONCLUSION	393
Summary of Theses	395

PRÉSENTATION DE L'ACTION D.G.R.S.T. « INCULTURE PYRÉNÉENNE »

par P. REY

RÉSUMÉ

Sous l'égide de la D.G.R.S.T., s'est déroulée de 1972 à 1976, une action interdisciplinaire de recherche, dont le but, sous le titre « Inculture pyrénéenne », était de préciser dans une perspective d'aménagement, l'évolution dynamique des deux modèles antagonistes d'exploitation de la montagne, en explorant les conditions de la déprise agricole et celles des diverses formes de substitution énergétique, cinétique, résidentielle, qui tendent à lui succéder.

L'action conduite de 1972 à 1976, sous le titre « Inculture pyrénéenne », à l'initiative du Comité « Equilibres et lutte biologiques » de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, s'est donné pour objet l'étude des processus d'inculture et de substitution en vue de la recherche d'un meilleur aménagement de la montagne.

Les thèmes de recherche initialement fixés se sont appliqués à la définition successive de :

1. *Modèles d'inculture*, traduisant la « dépression humaine » et ses conséquences biotiques, éco-physiologiques et géomorphologiques.
2. *Modèles de substitution*, résultant de trois types d'emprise sur un environnement rendu disponible :
 - *emprise énergétique* (hydroélectrique et industrielle);
 - *emprise cinétique*, imputable aux « mouvements » (piétinements, routes, chemins, con-

SUMMARY

Between 1972 and 1976, under the sponsorship of D.G.R.S.T., several laboratories made researches into "Pyrenean inculture", with the object of proving a dynamical development of two opposed models in a mountain region. In a planning perspective, the conditions of agricultural regression are studied as also the conditions of different substitution forms: energetic, kinetic, and residential.

duites forcées, téléferiques, pistes de ski, etc.);

— *emprise résidentielle* due à l'extension localisée ou diffuse d'un nouveau type d'habitat, sans rapport avec l'ancien.

3. *Modèles d'aménagement*, associant dans chaque cadre géographique plusieurs formules de mise en valeur dont l'optimisation serait déduite des modèles contradictoires précédents, dans le souci d'une sauvegarde des équilibres biocénétiques du milieu montagnard.

Pour faire face à l'exploration de ces thèmes a été mise en place une structure interdisciplinaire, groupant plusieurs laboratoires et instituts toulousains dont l'activité, après prise en compte de résultats méthodologiques acquis en divers secteurs des Pyrénées, s'est progressivement concentrée sur un secteur-clé, dont les caractéristiques générales sont apparues comme très représentatives de l'ensemble

des problèmes pyrénéens : le secteur Cerdagne-Capcir-Donzan, à la charnière des Pyrénées orientales et centrales. Parallèlement, une nécessaire décantation thématique s'est opérée à l'usage, certains axes de recherche ayant décelé leur meilleure aptitude à constituer des révélateurs de l'évolution des modèles étudiés. A l'évidence, la notion de *dynamique des modèles* s'est rapidement imposée, préluant à une *dynamique de l'aménagement*, dans laquelle l'appréciation des vitesses relatives d'évolution des phénomènes devient tout à fait primordiale.

Au terme du programme, il apparaît clairement qu'une prospective de l'aménagement montagnard peut être esquissée sur la triple base d'une organisation interdisciplinaire, d'une concentration méthodologique originale, et d'une recherche de la sensibilité régionale aux options de la mise en valeur.

ORGANISATION SCIENTIFIQUE.

L'action « *inculture pyrénéenne* » a associé les laboratoires suivants, groupés en huit équipes : cartographie, géomorphologie, écophysiologie, mycologie, pédozoologie, entomologie, hydrobiologie, législation.

— C.N.R.S. : Service de la Carte de la Végétation : Directeur P. REY (Toulouse).

— Université Paul Sabatier, Toulouse III. (U.E.R. Centre d'étude et aménagement des ressources naturelles).

- Laboratoires de :
Géologie et Géochronologie :
Pr. Y. GOURINARD.

Ecophysiologie végétale : Pr G. LASCOMBES († 1973).

Ecologie végétale : Pr : P. REY.

Mycologie : Pr. C. MONTANT.

Pédozoologie : Pr. P. CASSAGNAU.

Entomologie : Pr. A. LEDOUX.

Hydrobiologie : Pr. E. ANGELIER.

Législation : Pr. M. DESPAX (Univ. Sc. Soc.).

- Laboratoires et stations de montagnes :

Station biologique d'Orédon et Vieille Aure :
Pr. ANGELIER.

Station entomologique des Artigues (Luchon) :
Pr. LEDOUX.

Laboratoire de Hte-Montagne du Pic du Midi :
Pr. LASCOMBES, puis Pr. REY.

— Ont été cooptés en fin de programme, pour compléter l'interdisciplinarité et préparer l'évolution vers un nouveau projet de développement :

- Université des Sciences Sociales Toulouse I.
Institut d'Histoire du Droit : Pr. SICARD.
Institut d'Etudes Politiques : Pr. OURLIAC.

- Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (I.N.P.) Laboratoire de la Faune sauvage : M. BERDUCOU.

- Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Laboratoire de Pathologie : Pr. TOURNUT.

SITES EXPÉRIMENTAUX.

- Les recherches conduites par les groupes Cartographie, Géologie, Mycologie et Entomologie ont pu, dès l'origine, être concentrées sur un même territoire, choisi pour la diversité des conditions biogéographiques qu'il exprime par rapport au problème étudié.

Ce site privilégié s'étend sur 30 000 ha, dans les trois régions naturelles de Cerdagne, Capcir, Donzan (confins de l'Ariège, de l'Aude et des Pyrénées-Orientales). Le secteur ainsi choisi offre un bon échantillonnage des diverses conditions écologiques pyrénéennes (versant N, versant S, influences atlantiques, méditerranéennes, continentales). Il présente l'inconvénient (sensible au niveau de certaines enquêtes, et surtout dans la perspective d'un développement) d'intéresser deux régions administratives (Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon).

- C'est dans ce cadre qu'ont été progressivement concentrées les activités des autres groupes : il faut souligner ici que des raisons fondamentales d'effica-



cité et d'économie évidente de moyens ont dicté le maintien — au moins pendant la première phase du programme — des équipes Pédozoologie, Hydrobiologie et Ecophysiologie, à proximité géographique des Laboratoires de montagne susceptibles d'appuyer le développement de leurs recherches méthodologiques, notamment Oredon et Pic du Midi, implantés dans les Pyrénées centrales. Il eut été désastreux de ne point mettre à profit l'importante infrastructure scientifique de ces installations pour élaborer des méthodes d'intervention originales, propres à être ensuite étendues au secteur oriental.

● Quant aux recherches de type juridique et économique, il est également évident, en raison de la nature du sujet abordé (droits d'usage) que la première phase exploratrice ne pouvait concerner que le siège d'archives départementales ou régionales, avant d'en envisager la focalisation sur les secteurs plus limités.

C'est dans un second temps, qu'ont été conduites des actions locales dont les résultats sont particulièrement encourageants pour servir d'amorce à un développement d'enquêtes socio-économiques ultérieures.

MOYENS ENGAGÉS.

- Moyens de base. — La *puissance scientifique installée*, disponible à l'origine du programme, a permis de mettre à la disposition des groupes de travail un ensemble de moyens cohérents, diversifiés, et susceptibles d'être mobilisés, en convergence sur le thème :
 - moyens en personnel, tous regroupés dans un petit nombre de structures administratives;
 - moyens en doctrine d'intervention et *thesaurus pyrénéen*, particulièrement riche en bibliothèques, bibliographie, archives statistiques, travaux scientifiques, recherches méthodologiques, cartographie thématique, etc.

— moyens matériels (véhicules, équipement de laboratoire, photogrammétrie, stations d'altitude, informatique, impression offset).

- Moyens D.G.R.S.T. — Compte tenu de l'infrastructure acquise, les moyens D.G.R.S.T. mis à la disposition du programme ont pu être consacrés :

- à un complément d'équipement de laboratoire;
- à la réalisation d'une couverture aérophotographique au 15 000° (fausses couleurs et panchromatique) sur la moitié Nord du site expérimental retenu (Capcir, Donezan);
- essentiellement à une dotation « personnel » exclusivement affectée au recrutement de vacataires pour l'exécution de travaux d'assistance ou de complétement technique;
- à une dotation « missions » contribuant en complément à l'important effort de terrain consenti pendant toute la durée du programme par les laboratoires contractants.

LIAISONS.

Au cours des 5 années d'activité, le groupe « In-culture Pyrénéenne » a bénéficié de liaisons précieuses, particulièrement :

- au niveau du groupe lui-même et de ses rapports avec d'autres équipes engagées dans des actions pyrénéennes (notamment en Ecologie humaine);
- au niveau de la D.G.R.S.T. et de son groupe de travail Méthodologie, dont les suggestions ont été particulièrement efficaces dans l'orientation et l'organisation des recherches;
- au niveau des organismes administratifs régionaux, collectivités locales et groupes professionnels;
- au niveau international, par des contacts avec des collègues espagnols dans la perspective du programme MAB (Projet 6).

PREMIÈRE PARTIE

L'EXPRESSION DES MODÈLES

« La nature, en refusant aux contrées montueuses les ressources qu'elle prodigue aux pays de plaine, les a dédommagées par des avantages qui leur sont particuliers. Je désirais savoir jusqu'à quel point les habitants des Pyrénées en avaient profité... ».

DRALET, 1813. — *Description des Pyrénées.*

La première démarche méthodologique, préparatoire à l'aménagement montagnard, procède de la mobilisation de deux sources d'information : l'*imagerie aérienne* (photographie et télédétection) et l'*imagerie phytocartographique* (cartes de végétation et thesaurus correspondant).

L'une et l'autre fournissent conjointement la matière d'une *modélisation* originale, d'abord sensible par les traces qu'elle laisse sur le terrain et qui sont susceptibles d'explication tant par rapport à l'espace géographique qu'à leur dérivée temporelle, ensuite justiciable d'un traitement mathématique, grâce aux possibilités de quantification qu'elle offre, moyennant un protocole opérationnel approprié.

De tels modèles *dynécologiques* traduisent les effets antagonistes des deux systèmes d'exploitation qui caractérisent la montagne et reposent sur deux conceptions, — traditionnelle et moderne, — d'utilisation de l'énergie. Quant à celle-ci, l'eau et le soleil en sont les dispensateurs essentiels. Si la première a déjà fait l'objet d'une modélisation concrète (irrigation et hydroélectricité), le second reste encore ouvert à l'innovation méthodologique : une expression cartographique des conditions d'ensoleillement apporte une garantie supplémentaire à l'efficacité que l'on est en droit d'attendre d'un effort de *régionalisation* préalable à l'aménagement.

EXPRESSION CARTOGRAPHIQUE DE MODÈLES DYNÉCOLOGIQUES EN RÉGION DE MONTAGNE

par P. REY

Laboratoire d'Ecologie Végétale, Université Paul Sabatier Toulouse III
et Service de la Carte de la Végétation C.N.R.S.
29, rue Jeanne-Marvig, 31055 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

Le paysage végétal, reflet de la double action des facteurs naturels et de l'homme, évolue selon trois processus fondamentaux : régression, progression, substitution, au gré des variations temporo-spatiales de la pression humaine sur le milieu. Des modèles dynéco-logiques peuvent ainsi être proposés, tant sur le plan local que régional. L'expression de ces modèles peut être conduite par un traitement approprié de photographies aériennes et une interprétation dynamique des cartes phytogéographiques, qui peuvent suggérer une esquisse de régionalisation.

SUMMARY

The landscape is reflecting at a time the influence of natural and human factors. Three fundamental processes of evolution : regression, progression, substitution are presented. So, some dynecological models can be proposed, in the local and regional sphere.

An adapted processing of aerial photographs and a dynamical interpretation of vegetation maps lead to express these models and suggest to draw up a plan showing the distribution in different regions

N.B. Par souci d'équilibre et de complémentarité avec les notions d'AUTOÉCOLOGIE (relations entre l'être vivant et son milieu) et de SYNÉCOLOGIE (relations des groupements d'êtres vivants avec leur milieu) nous proposons de qualifier de DYNÉCOLOGIE, l'étude des relations précédentes dans le contexte de leur évolution dans le temps.

LES PROCESSUS DYNÉCOLOGIQUES

En montagne, comme ailleurs, le paysage végétal est le reflet d'une double action :

- facteurs naturels qui, en fonction du climat, de la nature du sol, de la topographie, déter-

minent en tout lieu une tendance naturelle de la végétation à se transformer et ordonnent son évolution vers un stade d'équilibre ultime, appelé *climax*;

- action de l'homme, ou de son troupeau, qui exercent sur le milieu une pression plus ou moins forte, modelant des paysages plus ou moins artificiels où l'on peut distinguer plusieurs étapes successives, depuis le sol cultivé jusqu'à la forêt.

L'abandon cultural, la *déprise* agricole ou pastorale, se traduisent ainsi toujours par l'établissement d'une succession de paysages remplaçant progressivement la culture ou le pâturage par des formations *incultes*, d'abord herbacées, puis sous-ligneuses, puis

ligneuses et finalement forestières (à l'exception des hautes régions de l'étage alpin, où l'équilibre terminal est une lande basse).

Inversement, la mise en culture, le reboisement, le ranching, la vaine pâture, se traduisent à leur tour par l'établissement de nouveaux paysages aussi caractéristiques.

Il en résulte que deux courants contradictoires de *progression* et de *régression* peuvent ainsi se développer sur un territoire quelconque, au gré des modalités différentes de la pression humaine sur le milieu. Les traces ainsi laissées sur le terrain par cette lutte de la *vocation* naturelle et de l'*affectation* humaine ou animale sont nettement perceptibles à l'observation terrestre ou aérienne, et donnent lieu à l'établissement de modèles significatifs, traduisant dans l'espace et le temps l'évolution des phénomènes.

Ces modèles, qui peuvent ainsi être qualifiés de *dynécologiques*, traduisent les effets de trois processus fondamentaux (fig. 1) :



FIG. 1. — Signatures dynécologiques : régression, progression, substitution.

- la *régression*, reconnaissable à ses traces circulaires et arrondies, ses structures lenticulaires, son image résiduelle;
- la *progression* aux limites plus anguleuses, ses structures enveloppantes, ses images réticulées;
- la *substitution*, quand l'utilisation agro-sylvopastorale du territoire cède la place à une autre forme d'exploitation du sol (urbanisation, voies de communication, implantations industrielles, etc.)

L'agriculture traditionnelle de montagne a déterminé six types d'utilisation du sol, — non compris la forêt —, et qui sont, de bas en haut :

- les cultures, les cultures en terrasses, les prairies de fauche;
- les clairières pâturées en forêt;
- les dépôts supraforestiers et les zones pastorales d'altitude.

Parfaitement définis et stables dans une économie montagnarde active dont ils représentent les *points obligés*, ces sites, dans l'hypothèse d'une déprise agricole, subissent une évolution caractéristique, parfois qualifiée de *remontée biologique*, illustrée par les tableaux suivants (fig. 2 à 7).

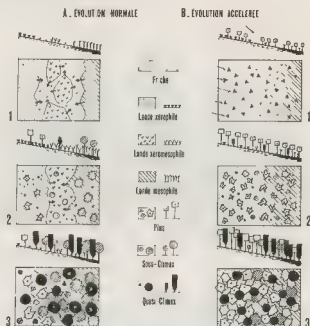


FIG. 2. — Processus d'inculture en zone agricole, cultures.

A. Evolution normale sur parcelles en faible pente.

1^{re} Installation d'une lande : a. Xérophile en haut de parcelle sur sol érodé (type callune); b. Xéromésophile en milieu de parcelle (type genêt); c. Mésophile en bas de parcelle sur sol enrichi (type fougère, ajonc).

2^{re} Progression descendante de 1 a, remontante de 1 c; installation de ligneux de transition (type pin en a, genévrier en b, noisetier en c).

3^{re} Installation forestière subclimacique, selon environnement (type pin en a; frêne, bouleau en b; hêtre ou chêne en c). Evolution ultérieure vers le climax.

B. — Evolution accélérée sur parcelles « domanées » par la forêt.
1^{re} Colonisation brutale et immédiate de l'espace libre par des semences d'essences forestières introduites par gravité (pin en général).

2^{re} Court-circuit des premières étapes du dynamisme; passage rapide à la pinède sous laquelle, ultérieurement, se développeront les essences climax.

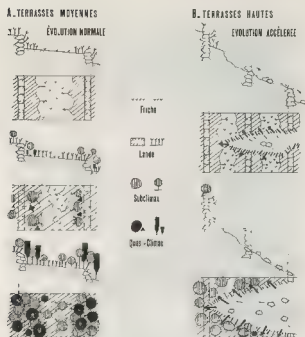


FIG. 3 — Processus d'inculture en zone agricole terrasses.

A. — Evolution normale sur parcelles en terrasses moyennes. Le processus ci-dessus est perturbé par l'accélération du dynamisme au niveau des murettes (tant en amont qu'en aval) où la succession est plus rapide et conduit à l'installation plus précoce de mailles boisées à partir desquelles s'organise le boisement intégral de la parcelle.

B. — Evolution régressive sur parcelles en pente forte ou terrasses « surexploitées ». Ravinement, destruction des murettes, installation d'un processus d'érosion remontante.

L'ORGANISATION DES MODÈLES

Par généralisation de ces processus dynécologiques élémentaires, peuvent être proposés, pour la montage, des *modèles dynécologiques régionaux*, illustrant les quatre étapes successives de l'occupation du sol telles qu'elles se sont historiquement développées et et suivant les tendances d'évolution qu'elles manifestent actuellement (fig. 8).

A ce niveau de synthèse, on admettra comme limites théoriques de tels modèles celles de la *Vallée*, ou du *Bassin versant*, qui semblent avoir toujours guidé l'économie montagnarde, sous réserve d'exception écologique dont il sera fait état plus loin.

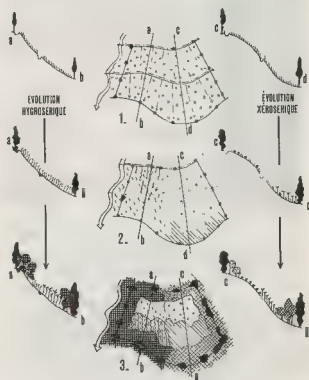


FIG. 4 — Processus d'inculture en zone agricole: Prairies de fauche.

Evolution normale et rapide dès l'abandon du fauchage, surtout en exposition nord, mais le plus souvent selon deux processus différents inhérents à la dégradation du réseau d'irrigation, avec, dans les deux cas, accélération du phénomène en bordure de parcelle à partir des lisières généralement boisées.

Evolution *hygroserique* dans les secteurs d'épandage intertemporel du réseau d'irrigation qui n'est plus contrôlé (généralement sur les parties concaves de la parcelle):

- 1° Haute prairie mouilleuse, à dominantes diverses, mais généralement très étendue;
- 2° « Mégaphorbia » ou fourré hygrophile,
- 3° Installation forestière subclimacique favorisée par l'évolution des lisières (frênes, aunes, saules).

Evolution *xérosérique* dans les secteurs où l'irrigation n'est plus fonctionnelle, et spécialement en zone convexe:

- 1° Pelouse, puis lande xérophile (type callune);
- 2° Lande mésophile à fougère, ajonc, genêt;
- 3° Faciès subclimaciques xéromésophiles en amont (bus, genévrier), mésophiles en aval (noisetier, frêne).

Tendance ultérieure à l'installation climacique au terme d'un processus d'empatement du bocage.

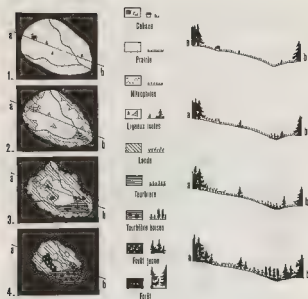


FIG. 5. — Processus d'inculture en zone forestière: Pâturages de transition.

Evolution normale selon deux processus complémentaires: *progression centripète* à partir des lisières (à la fois sous-arbrus-seaux, arbrus-seaux et semences d'arbres issues de l'environnement);

progression centrifuge, à partir de sous-ligneux et ligneux naturellement implantés dans l'espace pastoral (éventuellement à partir de formes abruties existant dans le pâturage en activité). Le type classique de cette progression est celui de la touffe de genévrier, houx ou rhododendron, s'accroissant en périphérie, et relayée en son centre, à l'abri de ronces et d'aconits, par des sems de hêtre, sapin ou pin à crochets.

L'évolution conduit normalement à l'installation du climax

— Cas particulier des clairières inclinées en versant nord.

Par le double jeu d'un mauvais écoulement des eaux et de la sédimentation d'air froid, établissement d'un processus de tourbi-fication dans le bas de la clairière

L'évolution ultérieure conduira au climax par l'intermédiaire d'une tourbière, puis d'un quasi-climax tourbeux — généralement à pin à crochets.

1. MODÈLE AGRO-SYLVO-PASTORAL.

La schématisation fait apparaître les conditions d'exploitation traditionnelle de la montagne:

Village bien exposé en soulane, entouré d'une auréole de cultures, avec une lisière de cultures en terrasses dès que la pente s'accroît.

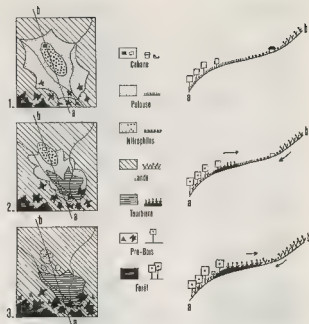


FIG. 6. — Processus d'inculture en zone pastorale: Jasses et reposoirs.

L'évolution naturelle de la pelouse subalpine conduit à la forêt subalpine à pins à crochets, par les intermédiaires de la lande (rhododendron, genêt purgatif) et peuplements à bouleaux, sorbiers, trembles, nerprun des Alpes, mais elle affecte généralement deux processus complémentaires centripètes enserrant une zone centrale, caractérisée au départ par une fumure anormale (développement des nitrophytes: orties près des cabanes, ché-nopodes dans les zones de stabulation).

— En amont, la lande subalpine progresse « per descensum », englobant des plages de pelouse résiduelle plus ou moins nitro-phytes.

— En aval, un bourrelet tourbeux s'installe à la faveur de la stagnation des eaux et du pré-bois, qui contribue par son développement même à augmenter la stagnation et progresse vers l'amont à la rencontre de la lande.

A l'ubac (ombrée), prairies de fauche, dont une grande partie est soigneusement irriguée.

Autour de ce noyau cultivé, auréole forestière, plus étendue, en versant nord qu'en versant sud, généralement peuplée d'essences différentes: hêtre-sapin au nord, pin sylvestre au sud, pin à crochet en partie supérieure.

Au-dessus, zone pastorale d'altitude, entrecoupée d'espaces non productifs (rochers ou éboulis), et éventuellement plaques neigeuses ou glaciaires en versant nord.

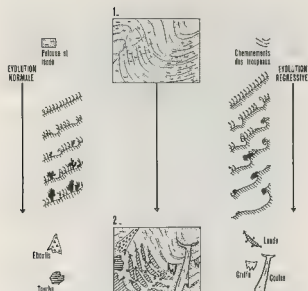


FIG. 7. - Processus d'inculture en zone pastorale: Pâturages supérieurs.

Pâturages d'altitude (subalpin et alpin).

Les versants parcourus par le bétail sont striés de cheminements horizontaux, plus ou moins marqués, en courbes de niveau, qui peuvent être le point de départ :

— sont d'une évolution progressive vers la lande subalpine (et ultérieurement la forêt), ou la lande alpine, dans les situations normales;

— sont d'une évolution régressive (sur les versants plus abrupts ou « surpâturés »), déterminant griffes ou nappes d'érosion.

Les versants concaves sont, en outre, le siège d'accumulation de pierres et d'éboulis, et de développement de placages tourbeux.

2. MODÈLE AGRO-SYLVO-PASTORAL INTENSIF.

Ce modèle évoque les conditions, fréquentes dans les Pyrénées au milieu du XIX^e siècle et à l'aube du XX^e, et qui le sont encore en quelques endroits (Andorre, Pyrénées espagnoles) :

- extension de la zone de culture, surtout dans le secteur « terrasses » établies sur des pentes de plus en plus fortes et dans des conditions d'exploitation de plus en plus précaires;
- perfectionnement et généralisation des réseaux d'irrigation de prairies de fauche;

- altération du manteau forestier, à la fois au contact des cultures, le long des drailles d'accès aux estives, et surtout à la limite supérieure, au contact des pâturages d'altitude
- forte charge pastorale des estives et apparition de signes de dégradation (piétinement et feu) préallables à l'implantation de processus d'érosion.

3. MODÈLES D'INCULTURE ET DE SUBSTITUTION.

La troisième étape illustre la confrontation de deux phénomènes :

- la déprise agricole, qui, surtout lorsqu'elle succède au modèle précédent, de surexploitation du milieu, entraîne une succession de processus dynécologiques centripètes : envahissement des cultures et prairies par la lande, puis la forêt, processus d'érosion, surtout en versant sud, aux dépens des terrasses, la reprise forestière en altitude restant freinée par la vaine pâture et l'écobuage résiduel, désorganisation du pâturage d'estive;
- la substitution énergétique, correspondant aux « aménagements » hydroélectriques, dont l'une des conséquences immédiates a été la désorganisation du réseau d'irrigation des prairies de fauche (ou tout au moins l'impossibilité du recours à sa restauration).

4. MODÈLE DE SUBSTITUTION TOURISTIQUE.

En dépit de son aspect futuriste, un tel modèle recouvre de multiples réalités : urbanisation, réseau routier, équipements sportifs, qui impriment au paysage des modifications irréversibles, dont certaines, par leur densité, peuvent contribuer à la remise en cause d'équilibres dynécologiques fondamentaux : entretien des réseaux routiers de très haute altitude, incidence de l'abandon des estives sur le comportement du manteau neigeux, morcellement de la couverture forestière, etc.

L'EXPRESSION GRAPHIQUE DES MODÈLES

Dans un souci d'efficacité méthodologique, il est fait ici allusion à des procédés d'expression qu'il est possible de conduire dès maintenant sur l'ensemble de la zone de montagne française. Ces procédés sont de trois ordres :

1. EXPRESSION ANALYTIQUE

par traitement de l'imagerie aérienne selon la méthode des *équidensités colorées*.

Utilisé avec prudence, ce type de traitement, appliqué à des photographies aériennes panchromatique, infra-rouge, fausses-couleurs, permet de faire apparaître, sous forme d'*équiplages* significatives (correspondant à certains seuils de densité optique de l'image), les processus dynécologiques signalés plus haut.

Dans l'atlas joint à cette étude, sont présentés des exemples illustrant la méthode dans les cas suivants (planches 3 à 8) :

- modèle agro-sylvo-pastoral traditionnel,
- régression forestière,
- modèles d'inculture,
- substitution hydroélectrique,
- substitution touristique et résidentielle.

Dans chaque cas, l'examen attentif (loupe) des limites d'équiplages apporte des informations d'un grand intérêt sur les tendances évolutives des phénomènes représentés. A l'interprétation synécologique classique, dont est justiciable la photographie aérienne, s'ajoute aussi une perspective très précieuse d'évaluation dynécologique.

2. EXPRESSION DYNAMIQUE.

par référence aux systèmes correspondants de cartographie de la végétation.

Pour toute la zone de montagne française, est actuellement disponible (ou le sera à l'échéance de deux ans), un ensemble de cartes phytogéographiques à diverses échelles, manuscrites ou publiées (mais toutes exploitables) parmi lesquelles :

- les feuilles au 200 000^e publiées de la Carte de la Végétation de la France CNRS,
- les minutes originales manuscrites au 50 000^e des précédentes,
- les feuilles, publiées ou manuscrites, au 50 000^e, 100 000^e, 400 000^e du Laboratoire de Botanique de Grenoble,
- diverses autres réalisations non systématiques, mais d'un grand intérêt méthodologique en plusieurs régions.

On peut donc poser en principe que la connaissance phytocartographique à *moyenne échelle* est d'ores et déjà acquise pour la presque totalité du territoire montagnard français, sous réserve de contraintes d'actualisation localement indispensables.

Ceci revient à dire, compte tenu de la valeur d'intégration du paysage végétal vis-à-vis des facteurs écologiques et humains, que toute action prospective d'aménagement peut raisonnablement se fonder sur un *thesaurus* cartographique mobilisable dès le début de l'action.

La planche 11 « végétation » de l'Atlas illustre une première possibilité d'exploitation. Réalisée par D. CASANOVA à partir des feuilles 77 Foix et 78 Perpignan (H. GAUSSEN) de la Carte de la Végétation CNRS, ce document présente, sous une forme volontairement dépouillée les principales caractéristiques biogéographiques des trois régions, objet principal de l'étude : Donezan, Capcir, Cerdagne.

L'expression graphique ainsi obtenue exploite les deux axes fondamentaux de la modélisation : vocation phytogéographique traduite par les couleurs attribuées aux séries et étages de végétation; affectation humaine révélée par la saturation des teintes (cultures en blanc, pelouses en pointillé, landes en ligné, forêts en teinte plate), la combinaison des deux figurés exprimant en tout point la *distance* séparant le type actuel d'occupation du sol de son stade potentiel idéal (climax, partout forestier, sauf pour l'étage alpin).

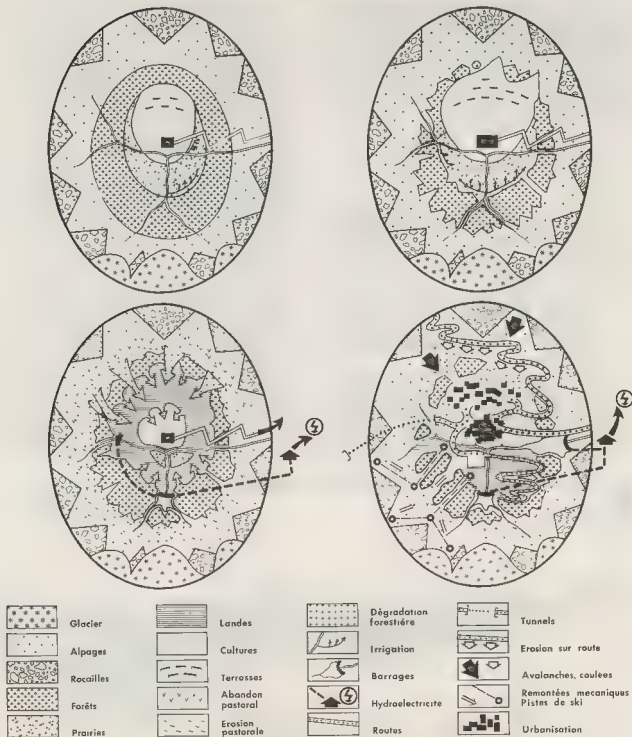


FIG 8. — Modèles dynécoliques de montagne :

1, agro-sylvo-pastoral normal; 2 agro-sylvo-pastoral intensif; 3, agro-sylvo-pastoral régressif et hydro-électrique; 4, touristique.

Sur la base des modèles dynécologiques définis plus haut s'esquissent ainsi à la fois, les perspectives d'une *qualification* de chaque sous-ensemble régional et celles de *quantification*, tant des surfaces ou volumes actuellement distribués sur le territoire que de leurs perspectives de modification naturelle ou artificielle.

3. EXPRESSION SYNTHÉTIQUE par esquisse de *régionalisation*.

La carte ci-dessus suggère aussi la possibilité de délimitation et d'organisation des modèles, dans leur réelle extension géographique et leur illustration écologique. On notera par exemple :

- l'originalité du Donezan, au modèle elliptique en *coquille*, largement diversifié en possibilités écologiques, dominé par la Hêtraie Sapinière révélatrice des influences climatiques nord-pyrénéennes;
- la cohérence de l'ensemble Capcir-Cerdagne sous la dominante Pin sylvestre - Pin à crochets, et dans lequel la topographie, soulignée par l'utilisation du sol, découpe des sous-ensembles homogènes tous à base agro-sylvo-

pastorale, mais dans des combinaisons différentes de ces trois affectations, très inégalement réparties.

La comparaison de cette carte avec la carte de situation également présentée dans l'atlas, permettra en outre d'apprécier le degré de concordance entre modèles écologiques et modèles administratifs : on constatera, par exemple, que les limites communales, cantonales, voire départementales ou nationales, confirment assez souvent les limites écologiques (car en montagne, les unes et les autres s'appuient le plus souvent sur des critères topographiques majeurs), mais lorsqu'elles les recoupent ou les débordent, il s'agit toujours d'une recherche de complémentarité écologique au profit d'un territoire à qui ferait normalement défaut une partie de la « vocation ».

A plus petite échelle, les modèles dynécologiques régionaux s'organisent en ensembles plus vastes, régis par la structure morphologique des vallées et les conditions d'implantation humaine. La carte (fig. 9) fournit un exemple de généralisation à l'ensemble de la chaîne pyrénéenne des processus d'abandon. Cette esquisse illustre la répartition de six modèles fondamentaux d'évolution de l'inculture :

- deux modèles annulaires traduisant un abandon concentrique : coquilles et coupoles;

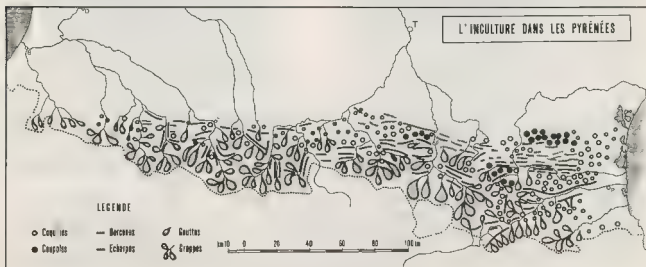


FIG. 9. — Modèles dynécologiques pyrénéens.

- deux modèles linéaires, exprimant l'abandon linéaire : berceaux et écharpes;
- deux modèles piriformes, typiques de la haute montagne où les surfaces de basse altitude sont exigües et les estives très étalées : gouttes et grappes.

CONCLUSION

Aux différents niveaux de perception souhaitables (local, régional, général), l'expression cartographique de modèles dynécologiques ouvre ainsi la voie à trois séries d'investigation :

- expression qualitative et quantitative des réalités et des possibilités du territoire montagnard, dans le cadre d'une régionalisation cohérente, par exploitation du thesaurus cartographique acquis;
- analyse des processus d'évolution des phénomènes et saisie instantanée de leur dynamique, notamment par exploitation de l'imagerie aérienne disponible;
- transfert de la modélisation cartographique à la modélisation mathématique.

On trouvera dans les contributions suivantes le développement de ces trois directions.

COMPTABILITÉ ÉCOLOGIQUE A MOYENNE ÉCHELLE APPLICATION A LA DÉFINITION DES RÉGIONS ÉCOLOGIQUES DONEZAN, CAPCIR, CERDAGNE

par M. IZARD

*Service de la Carte de la Végétation. C.N.R.S.
29, rue Jeanne-Marvig, 31053 Toulouse Cedex*

RÉSUMÉ

Le but est de fournir et d'interpréter des informations disponibles sur la plus grande partie du territoire français : — données climatologiques; — observations extraites de cartes thématiques (végétation, utilisation du sol, climat, substrat) par échantillonnage systématique et report sur cartes perforées. Interprétation appliquée à la définition des régions et applicable à l'inventaire écologique du territoire, à l'étude des relations entre facteurs écologiques, végétation et affectation humaine, à l'étude préalable de certains thèmes d'aménagement.

SUMMARY

The objective is to go over and interpret information available on the greatest part of French territory : — climatic data; — observations extracted from subject maps (vegetation, land use, climate, substrate) by a systematic sampling and transferred on punched cards. Interpretation applied to the definition of regions and applicable to the ecological evaluation of the territory, the study of the relationships of ecological factors, vegetation, occupation, the preliminary study of some subjects of management.

Le but de cette étude est de fournir et d'interpréter, sous forme quantitative notamment, un ensemble d'observations écologiques disponibles sur le secteur étudié comme sur la plus grande partie du territoire français.

Ces observations proviennent de deux sources :

— documents cartographiques à moyenne échelle, relatifs à la végétation (Carte de la Végétation du C.N.R.S.) et au milieu (diverses cartes thématiques concernant climat et substrat);

— données numériques fournies par les postes du réseau de la Météorologie Nationale.

Cette documentation sera utilisée ici pour caractériser des unités territoriales à signification écologique, dans lesquelles pourront être étudiés les

problèmes d'aménagement. Ces unités se réfèrent à la notion de « région écologique », et à celle de « modèle biogéographique régional ».

La « région écologique », dans le sens général donné par EMBERGER (1930) est une « grande étendue possédant partout les mêmes traits généraux déterminés par un climat uniforme dans ses caractères essentiels ». Cette notion est utilisée par le Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques (C.N.R.S.) (GODRON, 1963, 1972-73) en tenant explicitement compte de l'action de l'homme sur le cadre naturel. L'adjectif « écologique » veut souligner ici qu'il s'agit d'unités de territoire exprimant les relations entre le milieu et les êtres vivants (ici, principalement la végétation et l'homme).



C'est aussi la conception de REY, qui définit des « modèles biogéographiques régionaux », territoires correspondant à « une combinaison significative de diverses variables » (variables du milieu, végétation et action humaine) et témoins d'un « dosage significatif de vocation naturelle et d'affectation humaine ».

Il faut noter que ces unités peuvent s'étendre sur des territoires de superficie très variable.

Pour caractériser et délimiter les régions, nous utiliserons une méthode, inspirée principalement des travaux de REY et de GODRON, faisant appel à : — une étude climatique — une analyse de diverses cartes thématiques concernant la végétation, son utilisation par l'homme, et le milieu.

Le secteur étudié, situé à la charnière des Pyrénées centrales et orientales, réunit le Donezan et le Capcir appartenant au versant N de la chaîne (bassin de l'Aude) et la Cerdagne française appartenant au versant S (bassin du Sègre). Malgré leur appartenance à des versants différents, le Capcir et la Cerdagne communiquent largement et se trouvent réunis dans une même unité géographique à laquelle appartient également le haut Conflent (bassin de la Têt) : ce sont de hauts bassins encadrés de chaînes montagneuses assez élevées, à modelé adouci, à climat ensoleillé, à végétation de montagne sèche (étage montagnard à Pin sylvestre). Par ailleurs, le Donezan, haut pays s'abaissant vers le N et le NE et dominant la vallée de l'Aude, appartient au versant nord-pyrénéen à climat plus humide (étage montagnard à Hêtre-Sapin).

I. — ÉTUDE CLIMATIQUE (1)

La nécessité de hiérarchiser les critères retenus pour caractériser un milieu apparaît particulièrement dans le cas du climat. A la suite de REY (1960), nous distinguerons :

— des caractéristiques de premier ordre, dont la variation est sensible à l'échelle générale mais négligeable à l'échelle régionale. Elles expriment l'appartenance du climat régional aux grands types de climat général (exemple : régime ombrothermique);

— des caractéristiques de deuxième ordre, dont la variation est sensible à l'échelle régionale. Elles permettent de caractériser la région si on examine leur variation, soit les unes en fonction des autres (exemple : précipitations annuelles et température moyenne annuelle), soit en fonction d'une variable géographique telle qu'altitude, exposition ou distance à la mer;

— des caractéristiques de troisième ordre, qui sont très influencées par les conditions locales. Elles permettent d'estimer les corrections stationnelles apportées au climat régional (exemple : amplitude thermique diurne).

1. LES PRÉCIPITATIONS.

1.1. *La hauteur annuelle moyenne (1956-72)* est faible, pour des altitudes assez élevées, en Cerdagne, haut Conflent et Capcir, pays situés sous le vent des montagnes à l'égard de la plupart des perturbations; le bassin cerdan correspond à un minimum de pluviosité qui s'estompe l'été sous l'effet des pluies d'orage. Les précipitations sont relativement plus abondantes, pour les altitudes plus basses, en Donezan et vallée de l'Aude (Cf. fig. 1 et planche 18).

1.2. *Le régime pluviométrique moyen* appartient à deux types (cf. diagrammes fig. 1).

a) *En Cerdagne, haut Conflent et Capcir*, le régime est de type *continental*, avec maximum d'été et minimum hivernal (indicatif saisonnier : E-A-P-H). En basse Cerdagne (Saillagouse, Villeneuve-les-Escalades), les pluies d'été constituent 31 % du total annuel, les précipitations d'hiver 15 à 18 % seulement. A Font-Romeu, à Mont-Louis et en Capcir, le maximum d'été est moins accusé. Le poste de Valcebollère, plus riche en précipitations, paraît corres-

(1) Documents utilisés : Annales climatologiques des Pyrénées-orientales (1956-72) et Bulletin climatologique de Toulouse-Blagnac (1959-72).

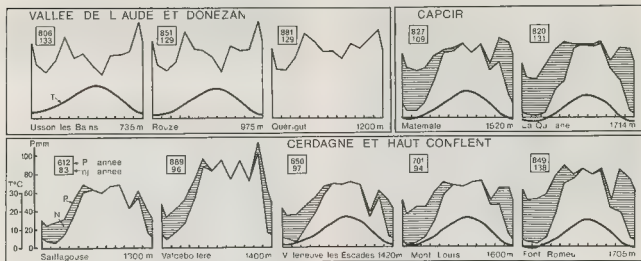


FIG. 1. — Diagrammes ombrothermiques (1956-1972).

P et n: hauteur et nombre de jours de précipitations; N: neige (valeur eau); T: température moyenne

pondre à un cas particulier, en liaison avec le développement d'orages locaux sur le massif du Puigmal.

b) Dans la vallée de l'Aude et le Donezan, le régime s'apparente au type nord-pyrénéen, sous dominance atlantique, par son minimum d'été et ses maximums de décembre et avril. Le passage de la vallée de l'Aude (Usson) au plateau du Donezan (Quérigut) se traduit par un comblement du minimum d'été et une diminution des précipitations de décembre, alors que le total annuel augmente peu avec l'altitude (atténuation de l'influence atlantique et transition vers le régime de Matemale en Capcir). L'indicatif saisonnier évolue de P # H # A-E à Usson, à P # A-H-E à Rouze, puis A # P-E-H à Quérigut.

* Pour exprimer la variation des précipitations mensuelles au cours de l'année moyenne, l'écart-type des coefficients pluviométriques relatifs mensuel (2) (BRISSE et GRANDJOUAN, 1974) a été calculé :

V. Aude	Usson-les-Bains ..	0,23
Donezan {	Rouze	0,22
	Quérigut	0,18

(2) Coefficient pluviométrique relatif: rapport des précipitations moyennes de chaque mois à ce que ce mois recevrait, compte-tenu de sa longueur, si le total des précipitations était également réparti sur tous les mois au cours de l'année.

Capcir {	Matemale	0,18
	La Quillane	0,21
	Font-Romeu	0,21
Haut-Confient {	Mont-Louis	0,21
	V-Escaldes	0,26
Cerdagne {	Valcebollère	0,32
	Saillagouse	0,32

C'est dans le Donezan, à Quérigut et dans le Capcir, à Matemale, que les précipitations mensuelles sont réparties le plus régulièrement au cours de l'année. On observe ainsi une égalisation du régime lors de son évolution du type nord-pyrénéen au type continental.

* Pour faire apparaître les similitudes, le coefficient de corrélation entre les régimes des postes pris deux à deux (mêmes auteurs 1974) a été calculé en considérant, dans les deux postes, les précipitations moyennes de chaque mois.

Les coefficients ainsi obtenus pour les postes cerdains, la Quillane et Mont-Louis sont élevés (0,90 et plus), témoignant de l'homogénéité de régime. Seuls, ceux qui concernent Valcebollère présentent des valeurs plus faibles (0,78 à 0,88) ce qui confirme la particularité déjà notée.

Le régime de Matemale (Capcir), en bonne corrélation avec ceux de la Quillane, Font-Romeu et Mont-Louis (0,86 à 0,88), se différencie plus nettement de ceux de basse Cerdagne (0,75 à 0,82).

Le régime de Quérigut (Donezan) est en bonne corrélation avec celui de Rouze (0,91), mais moins proche de celui d'Usson (0,83). Il est encore en corrélation avec les régimes du Capcir (0,72), mais non avec ceux du haut Conflent et de la Cerdagne (0,40 à 0,62) (0,71 : limite pour sécurité de 99 %). Le régime d'Usson (vallée de l'Aude) est sans corrélation significative avec les régimes du Capcir et de la Cerdagne (moins de 0,44).

1.3. Autres caractéristiques moyennes (1956-72).

* Le nombre de jours de précipitations est indiqué fig. 1.

En Cerdagne, haut Conflent et Capcir, ce nombre est peu élevé, malgré l'altitude; ces pays connaissent un ensoleillement généreux, d'autant plus que les orages d'été sont assez brefs. Valcebollère se singularise par la hauteur des précipitations, mais non par leur fréquence. Matemale reçoit des précipitations plus fréquentes que Mont-Louis, sous l'effet d'une influence atlantique plus sensible. Font-Romeu et la Quillane manifestent l'effet de l'altitude. En vallée de l'Aude et Donezan, le nombre de jours de précipitation est plus élevé (pour des altitudes plus faibles), traduisant l'influence atlantique. Il diminue légèrement lorsqu'on monte de la vallée au plateau de Quérigut, ce qui confirme l'atténuation de cette influence, déjà notée pour le régime.

* Le maximum de précipitation relevé en 24 heures a été noté pour chaque mois (1959 à 1972). La moyenne pour les 14 années est peu différente d'un poste à l'autre (comprise entre 19,6 mm à Sailagouse et 23,7 mm à Matemale), mais elle atteint 30,4 mm à Valcebollère (avec une moyenne de 55,7 en novembre).

* Malgré l'importance du facteur nival, nous disposons de données insuffisantes, surtout aux altitudes élevées. Le tableau 1 indique, par altitude décroissante : 1. La hauteur moyenne annuelle d'eau

de fusion de neige (mm); 2. Le coefficient nivométrique annuel : rapport précipitations solides/précipitations liquides (valeur eau); 3. Le coefficient : nombre de jours de neige/nombre de jours de précipitations.

TABLEAU 1
Données nivo-pluviométriques

	1	2	3
A 1 714 m La Quillane	322,0	0,38	0,44
1 705 m Font-Romeu	335,0	0,38	0,41
1 600 m Mont-Louis	238,0	0,32	0,36
1 620 m Matemale	244,5	0,29	0,29
1 420 m V.-les-Escaldes	143,0	0,22	0,26
1 400 m Valcebollère	164,0	0,17	0,27
1 300 m Sailagouse	113,1	0,18	0,23
B 1 200 m Quérigut	—	—	0,30
975 m Rouze	—	—	0,23
735 m Usson-les-B.	—	—	0,15

En Capcir, haut Conflent et Cerdagne (A), les coefficients se classent, dans le même ordre que les altitudes. Il n'en est pas de même pour la hauteur de neige : Matemale reçoit plus de neige que Mont-Louis, malgré son altitude plus basse, ce qui confirme l'enneigement plus important et plus durable du Capcir. La soulane de Cerdagne est particulièrement sensible au déneigement. En Donezan (B), le coefficient calculé d'après le nombre de jours traduit un enneigement important, malgré une altitude assez basse (comparaison Quérigut-Matemale). Bien qu'essentiellement régi par l'altitude, le facteur nival présente donc, aussi, des différences régionales.

1.4. Variations interannuelles (1959-72).

* Pour observer les variations de régime, on a noté, pour chacune des 14 années, le trimestre offrant le total pluviométrique maximal. Il apparaît ainsi deux groupes de postes :

— Usson, Rouze et Quérigut, où le maximum se produit moins fréquemment en été (1 et 2 fois) qu'en hiver (3 et 4 fois); et Matemale où les maximums d'été et d'hiver ont la même fréquence (2 fois);

— les postes cerdans, Mont-Louis et la Quillane où le maximum se produit plus fréquemment en été (4 à 8 fois) qu'en hiver (0 à 2 fois), ce qui confirme la tonalité continentale.

En résumé :

— Le régime pluviométrique, ses variations d'une année à l'autre, le nombre de jours de précipitations, traduisent l'évolution des grandes influences climatiques sur le secteur étudié (*caractéristiques de 1^{er} ordre*). L'expression du régime moyen fait apparaître une discontinuité, justifiant une limite cartographique, entre le type nord-pyrénéen (sous dominance atlantique), observé en vallée d'Aude et en Donezan et le type continental observé en Capcir, haut Conflent et Cerdagne. Il apparaît cependant une corrélation entre les régimes de Quérigut (Donezan) et de Matemale (Capcir), conséquence de l'égalisation du régime moyen lors de son évolution d'un type à l'autre. Les autres critères (ci-dessus) traduisent également une évolution de la tonalité atlantique vers la tonalité continentale, et manifestent un état de transition en Donezan.

— Les caractéristiques de 2^e ordre, bien que régies par l'altitude, traduisent aussi des différences régionales. La hauteur des précipitations distingue le Donezan de l'ensemble Capcir-haut-Conflent-Cerdagne à précipitations relativement peu abondantes. Le facteur nival distingue le Donezan et le Capcir de la Cerdagne peu enneigée et très sensible au déneigement sur son versant ensoleillé.

2. LES TEMPÉRATURES.

2.1. Températures moyennes, minimales, maximales (tabl. 2).

Les comparaisons Matemale — Mont-Louis et Font-Romeu, et la Quillane — Font-Romeu, compte-tenu de l'altitude, font apparaître un net déficit thermique pour les deux postes du Capcir. Le Capcir est plus froid que la Cerdagne, en raison de son exposition moins favorable et de la fréquence des vents du N. De plus, la situation topographique des postes comparés intervient nettement : ceux de Matemale (bas-fond) et de la Quillane (col sur axe N-S) sont dans des situations nettement plus froides que ceux de Mont-Louis (agglomération fermée, sur plateau) et Font-Romeu (versant ensoleillé et abrité des vents du N).

Pour interpréter les données du Donezan et de la vallée de l'Aude on doit aussi tenir compte de la situation topographique. Rouze et Usson, situés dans des vallées étroites, présentent des températures moyennes peu élevées et des minimums et maximums accusés. Carcanières, situé à 1 185 m sur le bord du plateau du Donezan, présente des températures moyennes plus élevées et des minimums nettement plus doux, malgré une importante différence d'altitude (période 1959-65 : moyenne annuelle 11°1).

TABLEAU 2
Températures moyennes, moyennes des températures minimales (m) et des températures maximales (M) (°C)

	Hiver			Printemps			Été			Automne			Année		
	moy	m	M	moy	m	M	moy	m	M	moy	m	M	moy	m	M
735 m Usson-les-B.	3,6	-2,2	9,4	9,1	2,4	18,8	16,6	9,1	24,0	10,6	3,7	17,4	10,0	3,2	16,7
975 m Rouze	2,1	-3,8	8,0	7,3	1,3	13,2	14,6	7,9	21,2	9,1	2,5	15,7	8,3	2,0	14,6
1 520 m Matemale	-0,6	-6,0	4,7	4,8	-0,7	10,2	12,9	6,1	19,8	7,2	1,2	13,3	6,1	0,1	11,9
1 714 m La Quillane	-2,5	-6,3	1,4	2,5	-1,8	6,9	10,9	5,4	16,4	5,5	0,7	10,2	4,0	-0,5	8,7
1 705 m Font-Romeu	-0,5	-4,7	3,5	4,4	-0,4	9,3	13,0	7,6	16,3	7,1	2,5	11,8	6,0	1,3	10,7
1 600 m Mont-Louis	0,7	-4,5	5,9	5,1	0,1	12,0	14,8	8,0	20,9	8,6	2,9	14,3	7,5	1,6	13,3
1 420 m V.-Espeyrols	1,6	-3,1	6,3	6,7	1,6	11,9	15,1	8,9	21,1	9,3	4,0	14,5	8,2	2,8	13,5

2.2. L'amplitude annuelle et ses variations inter-annuelles (1959-72).

Moyennes et écarts-types (σ) des amplitudes annuelles ($^{\circ}\text{C}$)

	moy.	σ
Usson-les-Bains	15,6	1,7
Rouze	15,3	1,6
Matemale	17,0	1,6
La Quillane	16,4	1,6
Font-Romeu	16,9	1,4
Mont-Louis	16,7	0,8
V.-les-Escaldes	16,5	1,2

L'amplitude annuelle, écart entre la température moyenne du mois le plus chaud, et celle du mois le plus froid, est plus faible dans la vallée de l'Aude et le Donezan (influence atlantique) qu'en Capcir, haut Conflent et Cerdagne. L'amplitude paraît un peu plus variable d'une année à l'autre dans la vallée de l'Aude, le Donezan et le Capcir, qu'en haut Conflent et Cerdagne : dans le premier groupe de régions, on observe des années à forte amplitude (tonalité continentale ou méditerranéenne) et des années à faible amplitude (tonalité atlantique); tandis qu'en haut Conflent et Cerdagne, les années à faible amplitude sont rares.

2.3. L'amplitude diurne moyenne.

Cette amplitude, écart entre la température maximale moyenne et la température minimale moyenne, subit l'influence souvent prépondérante de la situation topographique. Usson, Rouze, Matemale (situés dans des dépressions) et Mont-Louis (poste situé dans l'agglomération entourée de murs) présentent des valeurs élevées de cette oscillation.

Amplitude diurne moyenne annuelle ($^{\circ}\text{C}$)

Usson-les-Bains	13,5
Rouze	12,6
Matemale	11,8
La Quillane	9,2
Font-Romeu	9,4
Mont-Louis	11,7
V.-les-Escaldes	10,7

En résumé :

Les variables thermiques peuvent être classées en caractéristiques de 1^{re}, 2^e, 3^e ordre, selon qu'elles traduisent en priorité le climat général, l'altitude ou la situation topographique, bien que ces trois influences interfèrent souvent. — L'amplitude annuelle (*caractéristique de 1^{er} ordre*) différencie l'ensemble vallée de l'Aude-Donzan (influence atlantique) de l'ensemble Capcir-haut Conflent-Cerdagne (tonalité continentale). Ceci confirme la discontinuité déjà observée sur le régime des précipitations. — L'examen des températures moyennes (*caractéristique de 2^e ordre*), en fonction de l'altitude, fait apparaître le déficit thermique du Capcir et la douceur relative des températures de Mont-Louis et de la soulane cerdane. — L'amplitude diurne moyenne (*caractéristique de 3^e ordre*) attire l'attention sur les postes placés en situation peu aérée.

3. LES CONDITIONS OMBROTHERMIQUES.

Sont observées ici dans le but de déceler l'influence méditerranéenne, notamment au cours des variations interannuelles.

3.1. Régime ombrothermique moyen

* Les diagrammes ombrothermiques (fig. 1) montrent l'absence de mois sec au sens de H. GAUSSEN (mois dont la valeur des précipitations en mm est inférieure au double de la valeur de la température moyenne en $^{\circ}\text{C}$: $P < 2 T$). On peut constater aussi l'absence de « subsècheresse » (REY 1960 : $P < 3 T$), sauf à Usson où apparaît une légère subsècheresse en août.

* D'après l'indice de sécheresse estivale de GIACCOBE P_E/M (P_E : précipitations de l'été (mm); M : moyenne des maximums du mois le plus chaud de l'année ($^{\circ}\text{C}$). Une station peut être considérée comme méditerranéenne en France si $P_E/M < 7$ (EMBERGER) ou même ≤ 5 (BAUDIÈRE), le régime pluviométrique étant de type méditerranéen. Ces conditions

ne sont pas réalisées ici. Seul, le poste d'Usson se trouve aux limites des conditions méditerranéennes ($P_E/M = 6,8$).

* *Le Quotient pluviométrique* d'EMBERGER (1955) est utilisé ici sous la forme proposée par BAUDIÈRE (1970) dans laquelle la pluviosité estivale intervient au lieu de la pluviosité annuelle, de façon à étendre l'utilisation du quotient à la comparaison de climats qui ne sont pas de même type (c'est-à-dire ici, hors des limites méditerranéennes). La formule est la suivante :

$$Q_E = \frac{1\,000\,P_E}{\frac{M+m}{2}(M-m)}$$

P_E : Pluviosité de l'été (mm)

M : moyenne des maximums du mois le plus chaud de l'année (températures absolues)

m : moyenne des minimums du mois le plus froid de l'année (températures absolues).

Le critère de méditerranéité théorique proposé est alors : $Q_E \leq 17$ ou 18 . Aucun poste ne réalise ici cette condition.

3.2. Variations interannuelles (1959-72).

Il est apparu que le régime des précipitations est assez variable d'une année à l'autre. Les indices P_E/M et Q_E ont donc été calculés, pour chaque année et chaque poste, en vue de la recherche des années méditerranéennes. Pour 14 années, on observe trois années méditerranéennes dans la vallée de l'Aude, deux ou trois en Donezan et une en Capcir-haut Conflent-Cerdagne, sous l'effet d'une inversion de régime pluviométrique. L'année 1962 répond aux critères de méditerranéité dans tous les postes. Compte-tenu des caractères généraux du climat et des

ressources dont elle dispose, la Cerdagne a été la région la plus éprouvée par la sécheresse sévère de 1962 (CASANOBE, 1962).

4. AUTRES FACTEURS.

La Météorologie Nationale renseigne peu sur le vent, l'insolation, les brouillards, l'humidité atmosphérique, l'évaporation; ces facteurs sont cependant très importants pour la végétation et l'aménagement.

En Cerdagne, les vents dominants sont ceux de SW. En Capcir, le vent du N (Le Carcanet), froid et souvent brumeux, est fréquent. Mont-Louis reçoit les vents remontant la vallée de l'Aude (N), la vallée du Sègre (SW) et la vallée de la Têt (E).

La durée de l'insolation est parmi les plus élevées de France, en haut Conflent et Cerdagne surtout. A Odeillo elle est supérieure à celle de Perpignan, d'octobre à janvier (tabl. 3).

Le Carcanet amène des brumes qui se dissipent souvent dans l'air déjà sec du Capcir, mais envahissent parfois ce pays, s'arrêtant soit avant Mont-Louis, soit avant le Col de la Perche, et ne pénétrant pas en Cerdagne. Insolation et sécheresse de l'air contribuent à faire de la Cerdagne un milieu très sec pour la végétation. Le Capcir a une tonalité moins xérophile. En Donezan, l'humidité atmosphérique et la fréquence des brumes sont suffisantes pour permettre un large développement du Hêtre.

CONCLUSION.

Le climat des régions étudiées s'apparente à deux types : l'un nord-pyrénéen atlantique en Donezan, l'autre à tonalité continentale en Capcir, haut Conflent et Cerdagne. Ces types et leur limite sont essen-

TABLÉAU 3
Durée moyenne de l'insolation en heures (in TRICAUD, 1976)

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
Odeillo (4 ans)	164	148	201	207	220	338	263	276	219	208	168	155	2487
Perpignan (1951-70)	155	164	214	237	271	277	314	276	224	183	146	139	2603

tiellement exprimés par le régime pluviométrique, le nombre de jours de précipitations, l'amplitude thermique annuelle, qui paraissent les critères les plus significatifs. La limite présente cependant un certain étalement révélé par plusieurs variables qui manifestent un état de transition en Donezan et Capcir.

L'influence méditerranéenne peut atteindre l'ensemble du secteur à l'occasion d'une année à été particulièrement sec, ainsi que le montrent les diagrammes et indices ombrothermiques annuels.

II. — ANALYSE CARTOGRAPHIQUE

Les documents cartographiques analysés sont :

1. La carte topographique de l'I.G.N. au 1 : 50 000.
2. La carte géologique au 1 : 80 000.
- 3 et 4. Une carte des précipitations annuelles et une carte de la température moyenne annuelle établies au 1 : 50 000 à partir des valeurs moyennes fournies par les postes climatologiques.
5. La carte de la végétation du C.N.R.S. au 1 : 200 000 et ses minutes de fabrication au 1 : 50 000.

Le but est de décrire et de délimiter les régions écologiques (analyse qualitative) et de fournir une documentation quantitative sur leur contenu (analyse quantitative), en vue notamment de l'estimation de leurs capacités d'aménagement.

1. ANALYSE QUALITATIVE.

La confrontation des documents cartographiques permet de constater que certaines limites sont communes à plusieurs thèmes, ce qui permet de proposer des limites régionales d'autant plus significatives qu'elles associent un plus grand nombre de critères (GODRON, 1963, 1972-73; REY, 1960). Il est parfois possible de définir une limite précise, régie par une variable discontinue (la lithologie par exemple);

mais il apparaît souvent une « marche » dans laquelle plusieurs critères trouvent leur limite ou acquièrent un type de variation différent de celui qu'ils offrent sur le territoire de la région.

Le *Donezan*, dont le climat est de type nord-pyrénéen, se caractérise aussi par :

- * sa situation géographique : haut pays du versant N;
- * la nette dominance des granites, la présence de calcaires et la rareté des alluvions;
- * l'abondance des précipitations;
- l'étage montagnard humide à Hêtré-Sapin;
- * la distribution des grandes unités d'utilisation du sol : dominance des forêts dans la partie haute, localisation de l'habitat, des prairies et cultures (en intrication avec des terres incultes) dans la vallée de la Bruyante et sur le replat de Quérigut.

Comme cela est fréquent en montagne, c'est l'orographie qui permet de matérialiser la limite régionale le long des lignes de crêtes des bassins de la Bruyante et du Ruisseau de Quérigut.

Le *Capcir*, dont le climat est de type continental, se caractérise aussi par :

- * sa situation géographique : haut compartiment d'orientation S-N;
- * la dominance des granites et des schistes et l'étalement des alluvions;
- * le caractère du replat alluvial à températures relativement basses dans le bas-fond et pluviométrie peu abondante malgré l'altitude assez élevée;
- * la très faible représentation du Hêtré-Sapin; le développement de l'étage montagnard sec à Pin sylvestre et, surtout, de l'étage subalpin à Pin à crochets;
- la distribution des grandes unités d'utilisation du sol : versants forestiers; replat alluvial attribué essentiellement aux prairies et cultures, avec habitat sur le pourtour, et maintien d'une grande forêt.

A l'E et à l'W, la limite régionale est matérialisée par les lignes de crêtes du bassin de l'Aude. Au N, elle côtoie le *Donezan* et traverse la vallée de l'Aude au sortir du replat alluvial avant l'encaisse-

ment de la vallée dans la forêt du Carcanet (discontinuité orographique, climatique, phytogéographique, lithologique, d'affectation du sol). La limite est plus délicate à définir au SW et au S, en l'absence de discontinuité entre le bassin de l'Aude et celui de la Têt. Il s'agit ici d'une « marche » essentiellement climatique, entre le Capcir à climat rigoureux et affectation forestière et la soulane cerdane à climat plus doux, et où diverses affectations (habitat, prairies et cultures, pâturages) entrent en compétition avec la forêt. Cette « marche » intéresse le bassin de la Têt entre Les Bouillouses et les environs de la Llagonne.

La *Cerdagne* à climat continental moins froid et plus sec qu'en Capcir, se caractérise aussi par :

- * sa situation géographique : vaste bassin sud-pyrénéen, largement ouvert au SW et offrant soulane et ombrée;
- la dominance des schistes et granites et le développement des alluvions et des marnes dans le fond du bassin;
- les précipitations peu abondantes avec minimum en basse Cerdagne; la clémence relative des températures et l'importance de l'insolation sur la soulane;
- * la présence de la série du Chêne pubescent (xérophile); l'absence de l'étage montagnard humide à Hêtre; le développement de l'étage montagnard sec à Pin sylvestre, des étages subalpin et alpin;
- la distribution des grandes unités d'utilisation du sol : ombrée forestière sur les pentes N et les versants NE des vallons du Sègre et de ses affluents, inculte sur les versants SW de ces vallons; soulane avec cultures, prairies et habitat atteignant 1 800 m et vastes espaces pastoraux et incultes au-dessus; bassin occupé par des cultures et prairies, avec bocage dans le fond et intrication de terres incultes sur le pourtour.

La limite régionale est régie par les lignes de crête du bassin du Sègre au NW et au SE. A l'E, elle côtoie le Capcir, traverse la vallée de la Têt au sortir du plateau de Mont-Louis, puis rejoint les crêtes au Cambre d'Aze. Au SW, la Cerdagne se poursuit en territoire espagnol.

2. ANALYSE QUANTITATIVE.

Les cartes thématiques apportent une documentation systématique sur diverses variables. Cette documentation est moins détaillée en chaque localité que celle qui peut être recueillie sur le terrain, mais elle offre l'avantage d'être homogène sur l'ensemble du territoire cartographié; elle se prête bien aux procédés d'échantillonnage et aux études quantitatives. La méthode d'analyse quantitative des cartes a été proposée par REY (1960), sous la forme : — d'un échantillonnage systématique (par profils) de la carte de la végétation et de ses cartons annexes; — d'une expression statistique des principaux facteurs du milieu et de leurs relations. POISSONNET (1968) a fourni une interprétation quantitative de cartes à grande échelle sur une partie de la Sologne, en utilisant un échantillonnage par points distribués au hasard. Les résultats (analyse des liaisons entre les unités de milieu, des liaisons entre unités de milieu et de végétation, organigramme de synthèse) permettent de caractériser de façon approfondie la région écologique Sologne.

Notre analyse, qui se situe à moyenne échelle, utilise la documentation d'origine cartographique contenue dans un fichier écologique de cartes perforées, constitué au Service de la Carte de la Végétation. L'information ainsi réunie a été obtenue par lecture des documents cartographiques cités ci-dessus, selon un échantillonnage systématique retenant un point par km² (intersections des lignes du carroyage kilométrique Lambert). Selon les variables et les régions analysées, cet échantillonnage peut être doublé au quadruplé (contrôle des intervalles de confiance).

Pour chaque point, l'information recueillie concerne :

- A. des références cartographiques et administratives : coordonnées Lambert, département, canton;
- B. des observations sur le milieu :
 - oro-topographiques : altitude, exposition, pente
 - géologiques, lithologiques : âge, nature de la roche;
 - climatiques : température moyenne annuelle et précipitations annuelles;

C. des observations sur la végétation et son affectation : étages et séries de végétation, essences forestières principales, unités d'utilisation du sol.

Rappelons que chaque élément du paysage est représenté, sur la Carte de la Végétation, sous une double référence (REY) :

- référence potentielle, exprimée par la notion de *série de végétation*; on appelle ainsi la succession des groupements végétaux qui dérivent les uns des autres dans le temps en un lieu, du sol nu à la forêt, à la recherche d'un équilibre déterminé par les conditions écologiques de ce lieu;
- référence physiognomique, représentée par le *type actuel d'occupation du sol* affecté par l'homme sur le chemin de la série : cultures, pelouses, landes ou stades intermédiaires, bois et forêts.

Ainsi s'exprime en chaque point de la carte l'état d'équilibre actuel entre la *vocation* phytogéographique naturelle et l'*affectation* humaine.

Des observations extraites d'autres cartes thématiques peuvent être introduites dans le fichier, pour les territoires où ces cartes existent. Le code utilisé pour transcrire les observations sur cartes perforées est conforme à celui du C.E.P.E. (GODRON *et al.*, 1968) en ce qu'il a de commun avec lui.

La documentation ainsi recueillie permet une interprétation quantitative du contenu des régions écologiques, sous des aspects divers. En voici quelques exemples :

- Expression de la variation de divers facteurs considérés isolément ou conjointement :
 - * Distributions de fréquences des variables orotopographiques et lithologiques, des séries de végétation, des unités d'utilisation du sol (fig. 2) permettant de préciser l'analyse qualitative.
 - * Distributions des fréquences des précipitations et des températures moyennes annuelles (caractéristiques climatiques de 2^e ordre); expression de leur relation au moyen de « l'aire ombrothermique » de REY (enveloppe du nuage de points des combinaisons précipitations — températures).

— Inventaires écologiques :

- * comptabilité des affectations du sol selon vocations et selon divers facteurs du milieu (tabl. 4);
- * comptabilité des essences forestières selon facteurs du milieu.
- Inventaires de certaines combinaisons de variables en vue de l'étude d'un thème d'aménagement :
 - * recherche de sites favorables à l'installation de centrales électrosolaires : comptabilité, pour les bioclimats et expositions favorables, selon l'affectation actuelle et la pente (cf. ROCA).

Les combinaisons de variables sélectionnées dans ces divers inventaires peuvent donner lieu à une nouvelle expression cartographique.

La documentation quantitative d'origine cartographique peut aussi servir d'autres objectifs, sous le contrôle éventuel de la région écologique :

- Recherche d'explications : examen de l'écologie, à moyenne échelle, d'une essence forestière ou d'une unité de végétation; recherche de hiérarchies de facteurs. Cf. par exemple : méthode des « profils écologiques » et de l'information mutuelle (GODRON, 1968).
- Recherche de « limite optimale » (GUILLERM *et al.*, 1976).
- Modélisation; analyses multivariées.

CONCLUSION

Cette étude fait appel à deux types de documents : — des données climatologiques, détaillées mais intéressant un petit nombre de localités; — des observations d'origine cartographique, moins détaillées en chaque point, mais homogènes sur l'ensemble du territoire. Dans leur application à la définition des régions écologiques, les données détaillées complètent la documentation cartographique et permettent de contrôler son interprétation.

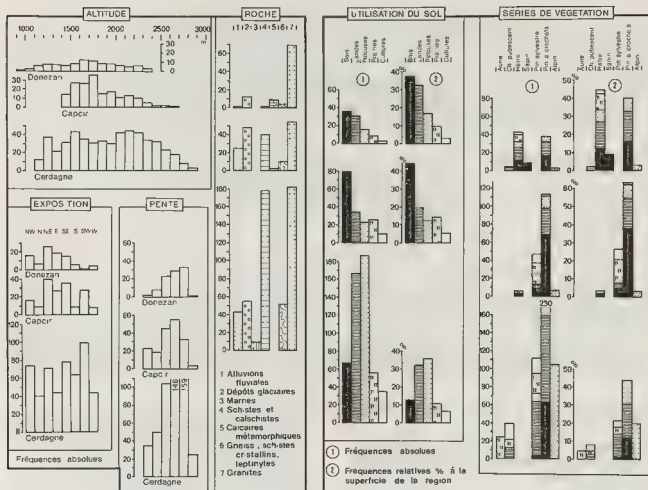


FIG. 2. — Analyse quantitative de la documentation cartographique.

D'une façon plus générale, l'interprétation de ces documents, disponibles sur la quasi-totalité du territoire, peut être appliquée : — à l'inventaire écologique de territoires se situant au niveau de perception régional ; — à la recherche d'une meilleure connaissance, sous l'aspect géographique, des relations entre facteurs écologiques, végétation et utilisation par l'homme ; — à l'étude préalable de certains thèmes d'aménagement.

BIBLIOGRAPHIE

- BAUDIÈRE (A.), 1970. — Recherches phytogéographiques sur la bordure méridionale du Massif Central français (les Monts de l'Espinouze). *Thèse Fac. Sci. Montpellier*.
- BRISSE (H.) et GRANDJOUAN (G.), 1974. — Classification climatique des plantes. *Oecol. Plant.*, 9, 51-80.

TABLEAU 4
Inventaire écologique de l'utilisation du sol en Cerdagne française

COMPTABILITE DES AFFECTATIONS SELON VOCATIONS (Étages - Séries de végétation)		COMPTABILITE SELON DIVERS FACTEURS DU MILIEU											
		Altitude = soyons et intervalle de confiance *	Température moy. ann. °C	Précipitations annuelles mm	Pente %				Exposition				
					0-5	5-10	10-20	20-40	40	N	S	E, W	
		km2	km2										
BOIS		57											
MONTAGNARD SEC - Pin sylvestre		4	1626 ± 156	8,4 ± 0,4	840 ± 75	-	-	2	1	1	2	1	
SUBALPIN - Pin à crochets		53	1905 ± 40	4,6 ± 0,2	1050 ± 38	1	4	8	25	24	48	4	
LANDS		169											
SUBMEDITERRANÉEN - Chêne pubescent		10	1369 ± 53	8,1 ± 0,4	704 ± 29	-	-	2	6	2	3	4	
MONTAGNARD SEC - Pin sylvestre		60	1545 ± 32	7,0 ± 0,2	792 ± 22	-	2	9	22	27	19	34	
SUBALPIN - Pin à crochets		95	2031 ± 40	4,2 ± 0,2	1183 ± 41	-	5	9	29	53	30	49	
PELOUSES		166											
SUBMEDITERRANÉEN - Chêne pubescent		2	1345 ± 445	8,4 ± 1,3	695 ± 445	-	-	-	1	1	1	-	
MONTAGNARD SEC - Pin sylvestre		10	1535 ± 105	6,9 ± 0,6	790 ± 64	-	1	3	4	2	3	5	
SUBALPIN - Pin à crochets		69	2047 ± 59	3,9 ± 0,2	1337 ± 44	-	8	35	21	17	8	47	
ALPIN (pelouses, rochers, éboulis)		105	2512 ± 25	1,6 ± 0,2	1629 ± 49	1	8	18	29	56	41	47	
PRAIRIES ET CULTURES		91											
BORDS DES EAUX - Aune		24	1254 ± 23	8,8 ± 0,2	695 ± 19	15	3	5	-	-	12	8	
SUBMEDITERRANÉEN - Chêne pubescent		27	1241 ± 23	8,6 ± 0,2	653 ± 17	11	11	4	1	-	6	16	
MONTAGNARD SEC - Pin sylvestre		40	1542 ± 35	7,0 ± 0,3	767 ± 19	1	13	17	8	1	13	20	

Les lectures ont été effectuées en 519 points (1 point par km²), les unités recensées sont exprimées en km²; les pourcentages correspondants et leurs intervalles de confiance * ont pour valeurs extrêmes : — unité recensée par 1 point : pourcentage compris entre 0,004 et 1,07; — unité recensée par 186 points : pourcentage 35,8 ± 4,2. * avec coefficient de sécurité de 95 %.

CASANOBE (G.), 1962. — Sècheresse estivale. *Ann. Climatol. Pyr. orient.*, 11-18.

EMBERGER (L.), 1930. — La végétation de la région méditerranéenne, essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Gén. Bot.*, 42, 641-662, 705-721.

EMBERGER (L.), 1955. — Une classification biogéographique des climats. *Recueil des Trav. Lab. Bot., Géol. et Zool., Fac. Sci. Montpellier. Bot.*, 7, 3-43.

GODRON (M.), 1963. — Esquisse des régions naturelles du Maroc. Carte à 1/2 000 000. INRA Maroc, Rabat.

GODRON (M.), 1968. — Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. *Oecol. Plant.*, 3, 185-212.

GODRON (M.), DAGET (Ph.), EMBERGER (L.), LE FLOC'H (E.), LONG (G.), POISSONET (J.), SAUVAGE (Ch.), WACQUANT (J.-P.), 1968. — Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. CNRS, Paris, 292 p.

GODRON (M.), LE FLOC'H (E.), LONG (G.), POISSONET (J.), 1972-73. — Cartographie de la végétation et de son écologie, in *Atlas régional Languedoc-Roussillon. Berger-Levrault*, Paris. 1 notice, 2 cartes, 1 pl.

GUILLERM (J.L.), GAUTHIER (B.), ROMANE (F.), 1976. — Deux applications en phytogéologie de la notion de limite « optimale ». *Vegetatio*, 33, 1-11.

LONG (G.), 1975. — Diagnostic phytogéologique et aménagement du territoire. Masson, Paris. I, 252 p., II, 222 p.

POISSONET (J.), 1968. — Essai d'approche quantitative de l'interprétation des thèmes cartographiques de la végétation et de son écologie en Sologne. *Thèse Doc. Ing., Fac. Sciences Montpellier*, et *Document C.E.P.E.*, 44, 171 p.

REY (P.), 1960. — Essai de phytocinétique biogéographique. CNRS, Paris. 399 p.

TRICAUD (J.F.), 1976. — Contribution à l'estimation des ressources énergétiques solaires. Ebauche d'un atlas du rayonnement pour la France. *Thèse Univ. Paris VII*, 96 p. Atlas 180 cartes.

L'IMAGERIE AÉRIENNE ET SON EXPLOITATION EN RÉGION DE MONTAGNE

par P. REY

Laboratoire d'Ecologie Végétale, Université Paul Sabatier Toulouse III
et Service de la Carte de la Végétation C.N.R.S.
29, rue Jeanne-Marvig, 31055 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

L'objet de cette note est de dégager des conditions d'utilisation pratique de photographies aériennes ou d'images de télédétection, dans l'hypothèse d'études d'aménagement montagnard, avec le souci de préciser, selon les cas, le caractère indispensable, possible, ... ou utopique, du recours à de telles méthodes d'investigation.

SUMMARY

The object of the short paper is to establish practical uses of aerial photographs or images by remote sensing when dealing with the studies of management in the mountains. We shall endeavour to state, in each case, the indispensable, possible, ... or utopic nature of the use of these methods of investigations.

LES SOURCES D'IMAGERIE

C'est la *photographie aérienne* qui constitue — et constituera longtemps encore — la documentation fondamentale préalable à toute action d'aménagement. Grâce à l'activité de l'Institut Géographique National, la couverture régulière par missions panchromatiques de l'ensemble du territoire, donc de la totalité de la zone de montagne, a été assurée plusieurs fois depuis 1942.

Plusieurs collections successives, à l'échelle moyenne du 1 : 20 000, et selon une périodicité de l'ordre de dix ans, sont ainsi disponibles en tout lieu, donc susceptibles d'alimenter, soit une photo-interprétation de base, par recours à la mission la plus récente pour le territoire considéré, soit une interprétation diachronique de l'évolution des paysages, donc des modèles dynécologiques, selon une dérivée de trente ans.

Compte tenu de l'excellent appoint qu'apporte la vision stéréoscopique dans l'observation des images, on peut se satisfaire d'une telle échelle pour la plus grande partie des opérations de description et de cartographie, quitte à organiser les travaux selon le protocole rigoureux et éprouvé de l'enchaînement de phases de photo-interprétation et d'investigations au sol, étroitement coordonnées.

Il demeure évident qu'à l'occasion de recherches plus fines, ou impliquant une actualisation plus exigeante, des missions propres au thème prospecté pourront s'avérer nécessaires. Il conviendra alors de bien préciser les conditions techniques d'exécution de la mission, en termes d'échelle, d'optique, d'émulsion, de date et d'heure de prise de vues.

La tentation de la grande échelle est forte, mais toujours tempérée par ses incidences financières et ses contraintes de temps d'exploitation. En règle générale, on s'accommodera toujours d'un dénomina-

teur légèrement, sinon sensiblement, supérieur à celui qu'un calcul initial semble rendre obligatoire, le bon compromis se situant entre le 1 : 10 000 et le 1 : 15 000, les missions à très grande échelle étant réservées à des cas exceptionnels.

Le choix du système optique, en montagne plus qu'ailleurs, mérite une attention particulière. L'échelle étant déterminée par la relation : $e = f/H$ (f : focale de l'appareil de prise de vues, H : altitude au-dessus du terrain), les variations de l'altitude imposent des contraintes de variation d'échelle qui peuvent s'avérer très préjudiciables si l'exploitation est d'ordre cartographique, moins gênantes cependant dans le cas de missions de renseignement. Pour une même échelle, une longue focale exigera un plafond plus élevé, mais les variations d'échelle d'un cliché à l'autre, ou à l'intérieur d'un cliché, seront moins grandes. Inversement, si des mesures de hauteurs sont envisagées sur les photographies (inventaire forestier par exemple), de courtes focales sont recommandées pour augmenter la précision des mesures.

Les émulsions disponibles appartiennent à 4 types : panchromatique, infra-rouge, couleurs, fausses-couleurs. Chacune d'elles a son intérêt, mais à défaut de la solution luxueuse retenant simultanément les quatre combinaisons (missions « tétracouples »), le choix doit se porter sur deux d'entre elles : panchromatique et fausses-couleurs. A ne devoir en retenir qu'une seule, c'est la dernière qui doit être choisie.

Quant à la date de prise de vues, c'est bien évidemment au thème qu'il appartient de la dicter. Les missions de base devraient être prises en été, le matin de préférence. Les missions de fin de printemps offrent le grand avantage d'illustrer une étape significative des conditions de déneigement, écologiquement plus intéressantes que des missions hivernales que l'on réservera aux études strictement nivologiques. En tout état de cause la connaissance de la situation climatique du jour de la prise de vues et de la période qui l'a précédée devrait pouvoir être assurée si l'on veut garantir une véritable interprétation de l'image quant à ses composantes phénologiques.

On retiendra, cependant, l'intérêt de missions ponctuelles, à la demande d'un thème précis (dénom-

brement d'animaux ou comportement de troupeaux, par exemple), qu'il est indispensable de conduire selon des contraintes chronologiques rigoureuses pour lesquelles l'affrètement d'avions légers présentera des avantages certains.

● La deuxième source d'images est du domaine de la *télédétection aéroportée*. Entre la photographie, — image instantanée de la totalité d'un site exploré dans une large bande de sensibilité spectrale (visible et proche infra-rouge), — et l'image de télédétection, — résultat de l'exploration radiométrique par balayage de fractions successives de ce site, dans d'étroits créneaux de sensibilité, — il existe une différence technologique et méthodologique considérable, même si la restitution de la seconde sur support photographique peut faire illusion.

Les capteurs appropriés, dits « scanners multispectraux », « travaillent », soit dans 10 bandes spectrales, du visible et du proche infra-rouge (scanner Daedalus), soit dans le domaine de l'infra-rouge thermique (scanner Cyclope). Les uns et les autres sont dits scanners passifs, car ils enregistrent des rayonnements émis ou réfléchis naturellement par le terrain, par opposition aux scanners actifs (du type radar ou laser) propres à émettre un rayonnement artificiel et en récupérer l'écho.

Parmi ces trois systèmes, seuls les deux premiers ont atteint, d'une certaine manière, le stade opérationnel (le système radar, en dépit des importantes promesses qu'il offre, n'a pas encore dépassé la phase expérimentale). Cependant, les contraintes de leur mise en œuvre et de leur exploitation sont telles que leur application au domaine de la montagne reste encore exercice d'école, et sauf cas particulier, dans le registre de la thermographie, il ne semble pas qu'on puisse fonder sur de telles méthodes l'exploration systématique d'un territoire montagnard étendu. Leur utilisation n'est ainsi concevable que dans des hypothèses expérimentales sur des sites et pour des thèmes très particuliers.

● Paradoxalement, le domaine de la *télédétection spatiale* et de la *photographie à très haute altitude* est beaucoup plus accessible à l'utilisateur aménageur montagnard. On mentionnera dans cette rubrique :

- les images photographiques obtenues à bord de ballons stratosphériques (C.N.E.S.), navigant vers 35-40 km d'altitude sous la poussée des « jetstreams », mais selon des trajectoires assez aléatoires, bien que de direction générale prévisible. Les conditions de l'utilisation de tels engins en France, à partir des aires de lancement du C.N.E.S. (Aire-sur-Adour et Gap) en limitent l'application à quelques zones privilégiées (Pyrénées, Alpes du Sud), sans garantie du survol;
- les images photographiques acquises à bord de *satellites habités* : on dispose, par exemple, d'excellents documents tétracouples, réalisés par Skylab (1973) et offrant le grand intérêt de la synthèse à petite échelle. On peut donc attendre des missions prévues à bord des navettes spatiales Spacelab de précieuses informations de ce type, s'il est toutefois possible de faire introduire dans les programmes d'exploitation quelque thème intéressant la montagne française;
- les images de télédétection extraites des missions régulières effectuées par les *satellites permanents* de haute altitude non habités, type Ertis 1 = Landsat 1, et Landsat 2. Prises à 906 km d'altitude, simultanément dans quatre bandes spectrales (0,5 à 1,1 μ), ces images de scanner multi-spectral (MSS 4, 5, 6, 7) couvrent systématiquement la totalité de la surface terrestre, depuis juillet 1972 à la cadence d'un survol du même secteur tous les 18 jours.

Il semblerait donc que l'on puisse disposer d'une information considérable, mais la réalité conduit à tempérer cet optimisme. Quelles qu'en soient les raisons (couverture nuageuse, incidents de prise de vues ou de transmission, difficultés de décodage, engorgement de mémoires), le nombre d'images réellement disponibles sur un site est très variable suivant les régions et parfois très insuffisant (1).

(1) Les images Ertis et Landsat sont diffusées selon leurs dates de prises de vues, soit par la N.A.S.A., soit par la station italienne Telespazio, soit par le G.D.T.A. (Groupement pour le Développement de la Télédétection Aéroportée).

C'est ainsi que, malgré la position privilégiée de notre groupe de recherche, qui bénéficiait, dans le cadre d'une convention N.A.S.A./C.N.R.S. (Programme Arnica) (2), de la délivrance directe d'images, il nous a été impossible de disposer, sur le site D.G.R.S.T., d'une documentation assez riche pour conduire des traitements significatifs. Les résultats commentés ci-après ont été acquis en d'autres régions.

LE TRAITEMENT DES IMAGES

Par delà les procédés d'interprétation classique des images (photo-interprétation instantanée et diachronique), qui restent la source d'information fondamentale, il convient d'évoquer trois méthodes de traitement susceptibles d'exploitation.

1. LE TRAITEMENT EN EQUIDENSITÉS COLORÉES.

La méthode des équidensités colorées a donné lieu à diverses réalisations techniques, selon des procédés voisins, dont l'effet est de transformer la progression continue des densités de gris d'une image photographique en progression discontinue de classes successives correspondant à autant d'*équiplages* que le traitement technique peut en réaliser. Un tel traitement de choc fait ainsi apparaître sur l'image certaines nuances et transitions que l'œil humain, densitomètre médiocre, ne saurait aisément séparer.

La contribution apportée ici à cette technique s'attachait à deux objectifs :

1. — définir un protocole expérimental simple, susceptible d'être mis en œuvre avec la sécurité suffisante, par tout laboratoire de recherche normalement, mais modestement équipé;
2. — évaluer les conditions déontologiques de l'interprétation des images obtenues, sous le

(2) Aménagement des Ressources Naturelles par Inventaire Cartographique Automatique.

contrôle rigoureux des thèmes de recherche, car l'expérience a trop souvent montré qu'une exploitation incontrôlée de tels documents (par exemple au titre de la cartographie automatique) pouvait conduire à des résultats aberrants, d'une sécurité parfaitement illusoire.

La note technique (REY, ARLES, DELORME) publiée en 1973, sous l'égide du Groupe *Méthodologie Ecologique* de la D.G.R.S.T., répond à cette double préoccupation.

Les exemples de réalisation reproduits dans l'Atlas (planches 3 à 8) illustrent les possibilités de la méthode, tant à très petite échelle, pour les documents issus de satellite ou de ballons, qu'à très grande échelle, dans des portions agrandies de documents traditionnels. On notera, en particulier, l'intérêt de la mise en évidence de processus dynécologiques, par l'examen attentif des limites d'équipages, en vue de l'expression des modèles d'inculture ou de substitution.

2. LE TRAITEMENT EN COMPOSITIONS COLORÉES.

Très différente est la méthode consistant à traiter l'imagerie scanner en superposant, selon un code chromatique approprié, les images acquises sur un même site, simultanément dans plusieurs bandes spectrales, ou successivement à l'occasion de survols répétitifs.

On réalise ainsi deux types de documents :

- *des compositions colorées instantanées*, résultant de la superposition de trois MSS simultanés, correctement sélectionnés et respectivement reproduits en cyan, magenta et jaune, sous forme diapositive ou imprimée. De tels documents, largement vulgarisés, fournissent une image aux couleurs surprenantes, mais riche d'interprétation synthétique car elle peut mettre en évidence des ensembles chromatiques originaux, susceptibles de fournir argument à des esquisses de régionalisation.

- *des compositions colorées diachroniques*, résultant de la superposition de trois images MSS, de type spectral, mais acquises à des dates différentes, et reproduites selon la même technique trichromatique. Le procédé n'est applicable qu'aux images de satellite en raison de l'extrême rigueur de la trajectoire, garante d'une superposition absolue des images, même si les prises de vues sont largement espacées dans le temps.

La méthode trouve un champ d'application d'un très grand intérêt pour l'aménagement montagnard : celui de la reconstitution de l'évolution de l'enneigement d'un massif. Pour les raisons exposées plus haut, il n'a pas été possible de disposer d'images significatives sur les Pyrénées. L'exemple publié est ainsi relatif à la bordure orientale du Massif Central, site sur lequel trois images infra-rouges successives ont pu être exploitées (26 janvier, 21 mars, 14 mai 1973) (planche 2).

3. LE TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES IMAGES SCANNER.

La destination principale des données acquises par télédétection est leur traitement numérique. La visualisation analogique qui vient d'être évoquée et conduit à l'analyse d'images, garde l'immense avantage de pouvoir confronter le document à une réalité connue ou perceptible, mais elle correspond à une perte d'information très sensible par rapport aux données enregistrées par le scanner. Il est donc indispensable de remonter à la banque et de développer, moyennant un traitement approprié de l'image, des programmes informatiques propres à exploiter les codes de correspondance reconnus entre *signatures spectrales* et *vérité-terrain*.

La mise en œuvre de tels programmes dépasse, pour l'instant, le cadre concret d'une étude d'aménagement montagnard. La diversité écologique des sites, l'échelle des documents, la complexité des opérations à conduire au sein d'équipes interdisciplinaires dis-

posant de moyens importants, sont autant de contraintes opposables à l'efficacité des résultats.

Nous nous bornerons à évoquer ici le protocole opérationnel mis au point dans le cadre du programme interdisciplinaire Arnica (1972-75) :

1. — exploitation qualitative des images Erts par référence à la Carte de la Végétation;
2. — numérisation et sélection, par étapes successives, de niveaux densitométriques caractéristiques des différentes classes de vérité-terrain;
3. — recherche et exploration statistique de graphes de correspondances tendant à préciser les meilleures combinaisons de signatures spectrales;
4. — essai de cartographie automatique d'un élément simple de vérité-terrain.

CONCLUSION

Face à cette très large palette de possibilités d'exploitation de l'imagerie aérienne ou spatiale, il apparaît donc, dans les actions d'aménagement montagnard, que l'on puisse émettre les conclusions suivantes :

- Le recours à la photo-interprétation d'images aériennes classiques, disponibles ou réalisées en tant que de besoin, est absolument indispensable dans toute opération d'aménagement, — le do-

cument idéal d'exploitation étant l'image infrarouge fausses-couleurs à l'échelle du 1 : 50 000.

- Les traitements d'images en équidensités colorées et la photo-interprétation diachronique constituent d'excellents éléments d'intelligence des processus d'évolution à prendre en compte.
- L'imagerie Landsat, dans la mesure où elle est disponible, apporte d'utiles informations de synthèse régionale, mais présente surtout un intérêt de premier plan dans la reconstitution de phénomènes climatiques instantanés ou chronoséquentiels.
- Les autres perspectives d'exploitation (scanners aéroportés, traitement numérique) ne semblent pas avoir, dans l'état actuel de la technologie, — et quant à la mise en œuvre en montagne, — d'autre intérêt que celui de soutenir des études expérimentales et ponctuelles, dont la généralisation à des cas concrets demandera encore beaucoup d'efforts.

BIBLIOGRAPHIE

- REY (P.) et IZARD (M.), 1967. — Notions pratiques de photo-interprétation, C.N.R.S., 62 p.
- REY (P.), ARLES (C.) et DELORME (R.), 1973. — Equidensités colorées et télédétection des ressources naturelles. *Notes Techn. D.G.R.S.T. Méthodol.*, 2, 20 p.
- REY (P.), 1974. — Résultats et perspectives de l'expérience Arnica Erts 1. *E.S.R.O. Sympos. Frascati*, 325-347.

QUELQUES ASPECTS DE LA DÉPRISE AGRICOLE EN RÉGION DE MONTAGNE APPLICATION AU CANTON DE QUÉRIGUT (ARIÈGE)

par A. FABRE

Service de la Carte de la Végétation C.N.R.S.
29, rue Jeanne-Marvig, 31055 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

La comparaison de 4 séries de photographies aériennes prises de 1942 à 1972 a permis d'établir deux cartes de déprise agricole à partir desquelles a pu être conduite une interprétation qualitative puis quantitative du phénomène. L'analyse discriminante fournit un modèle de classification acceptable pour l'étude des processus d'abandon.

La déprise agricole est un phénomène déjà ancien qui affecte une grande partie des zones d'altitudes moyennes ou hautes du territoire français. Dans cet article nous nous limitons à quelques aspects écologiques de ce problème.

1. — DOCUMENTATION DE BASE

Nous disposons pour le canton de Quérigut (09) d'une série de photographies aériennes prises en 1942, en 1952, en 1962 et en 1972.

A partir d'une telle documentation, il a été possible de dresser la carte de la déprise agricole de ce

SUMMARY

The comparison of four groups of aerial photographs taken between 1942 and 1972 enabled us to show up two maps of agricultural regression which allowed us to draw up a qualitative and quantitative interpretation of the phenomenon. The discriminant analysis supplies a model of classification which is acceptable for the study of the process wasteland encroaching on agricultural domains.

canton. Cette carte représente l'ensemble des parcelles abandonnées avant 1942, l'ensemble des parcelles abandonnées de décennie en décennie jusqu'à 1972 et enfin l'ensemble des parcelles toujours soumises à une activité agricole en 1972.

Cette première carte qui représente le phénomène de déprise agricole à travers le temps (carte diachronique) nous a conduit à dresser une seconde carte, la carte de la dynamique de l'inculture, représentation simplifiée et synthétique de la dynamique de la déprise.

Ces deux cartes constituent la documentation de base à partir de laquelle a pu être conduite une interprétation qualitative puis quantitative du phénomène de la déprise agricole (Atlas : planches 9 et 10).

2. — INTERPRÉTATION QUALITATIVE

L'interprétation qualitative est faite à partir de la carte de la dynamique de l'inculture. Cette carte présente des plages de trois types différents que nous avons appelées des modèles. Ces modèles sont proches de la notion de zone isophène et correspondent à des sous ensembles du paysage où la dynamique de l'inculture présente une certaine homogénéité dans le temps. Ces modèles ont un contenu descriptif et explicatif.

Le modèle d'inculture linéaire de vallée correspond à une disposition caténaire de l'inculture qui progresse depuis les parties les plus basses des vallées vers les parties les plus hautes. Ce modèle, très limité dans l'espace, est lié à la présence d'un cours d'eau. Il est caractérisé sur le plan écologique par une grande humidité de l'air et des sols qui a pour conséquence un certain engorgement de ceux-ci défavorable, même aux prairies.

Le modèle d'inculture linéaire de hauteur est encore un modèle caténaire. Son origine est surtout à rechercher dans le rôle de l'éloignement aux villages. Il traduit une dynamique descendante de l'inculture qui, dans le cadre géographique du canton de Quérigut, se manifeste par un encercllement progressif à partir des zones périphériques.

Le modèle d'inculture circulaire est le plus typique. Il s'agit d'un modèle centrifuge où l'inculture progresse sous forme d'auréoles concentriques à partir du sommet de buttes, typiques dans cette région, vers le bas de celles-ci.

Ces buttes, par leur forme propre, présentent une multiplicité de facettes écologiques; elles ont cependant comme caractère commun des pentes assez fortes et une faible profondeur des sols.

On voit donc que ces trois modèles, expression synthétique de la carte de la déprise agricole, ont un contenu explicatif global.

3. — ÉTUDE QUANTITATIVE

A partir de la documentation de base il était intéressant de poser trois questions : quelle est l'importance de l'abandon dans l'espace et dans le temps, quelles sont les relations entre l'abandon et des variables écologiques simples, que peut-on dire du devenir des parcelles abandonnées ?

Nous avons essayé de répondre à ces questions en nous limitant à la seule commune de Quérigut et en utilisant des méthodes quantitatives.

3.1. L'ÉCHANTILLONNAGE.

Nous avons choisi la parcelle comme unité statistique et nous avons procédé à un échantillonnage de 850 parcelles. (Pour cela nous avons utilisé une table de nombres aléatoires et non une grille, afin d'éviter un biais toujours possible et qui aurait pu être causé par la taille différente des parcelles ou par des phénomènes de tendance ou de périodicité).

Cet échantillon a ensuite été stratifié en fonction des modèles définis précédemment, selon la correspondance suivante :

- strate 0 : modèle circulaire,
- strate 1 : modèle de vallées,
- strate 2 : modèle linéaire de hauteur,

une strate 3 étant réservée aux zones les plus plates où se concentrent les dernières activités agricoles.

3.2. LES VARIABLES EXPLICATIVES

Sur chacune des parcelles ainsi échantillonnées ont été mesurées, essentiellement par photogrammétrie, sept variables écologiques simples pouvant avoir un contenu explicatif des phénomènes étudiés : *position*

topographique, altitude, pente, distance au village, accès direct (importance de la voie d'accès principale à la parcelle), *accès indirect* (position de la parcelle par rapport à cette voie) et enfin *énergie* (combinaison entre l'exposition et la pente).

3.3. LES SOUS-ENSEMBLES TRAITÉS.

A partir du critère de stratification, d'un critère chronologique (extrait de la carte de la déprise agricole), et d'un critère lié à l'état initial d'occupation du sol (culture ou prairie), nous avons pu définir un certain nombre de sous ensembles qui feront l'objet de traitements statistiques. Le sous ensemble des prairies abandonnées entre 1952 et 1962 et appartenant à la strate 0 en est un exemple.

3.4. LES MÉTHODES QUANTITATIVES.

La question des taux d'abandon a été traitée à partir de méthodes classiques faisant appel aux tables de contingence. Nous avons eu recours également à la recherche de tendances dans une série de proportions ordonnées. On trouvera l'exposé de ces méthodes dans MAXWEL (1971) ou dans FLEISS (1973).

La recherche de relations entre l'abandon et les variables écologiques ou bien la question du devenir des parcelles abandonnées ont été abordées par l'utilisation de l'analyse de variance multivariable, de l'analyse de covariance multivariable, ou par l'analyse discriminante et la fonction discriminante de FISHER. Ces méthodes sont toutes issues du schéma classique de la décomposition de la variance totale :

$$T = W + A$$

On utilise dans le cas de l'analyse de variance ou de l'analyse de covariance multivariables, le test du rapport des variances généralisées de WILKS, mais appliqué aux matrices de variances résiduelles dans le second cas. Pour l'analyse ou la fonction discriminante, bien que le modèle initial soit le même, le but est différent puisqu'il est nécessaire de maxi-

miser une variance entre groupes et de minimiser une variance à l'intérieur des groupes. Cette condition est assurée en recherchant le maximum du rapport de deux formes quadratiques ce qui conduit à extraire les valeurs propres et vecteurs propres du produit matriciel $T^{-1}A$. Ces méthodes sont inférentielles et supposent p-normalité et homoscédasticité. On sait cependant qu'elles sont très robustes, et moyennant certaines précautions dans leur interprétation elles sont utilisables sur des données écologiques souvent assez éloignées des conditions initiales du modèle de base.

4. — RÉSULTATS

4.1 ABANDON CULTURES/ABANDON PRAIRIES.

Pour les trente années que couvrent notre étude, le taux d'abandon des cultures est nettement plus élevé que le taux d'abandon des prairies

Ces taux, pour les cultures d'une part, pour les prairies d'autre part ne diffèrent pas significativement de la strate 0 à la strate 1. Il est possible que pour la strate 0 les prairies soient abandonnées avec la même intensité que pour la strate 1 pour des raisons opposées. Excès de sécheresse dans le premier cas, excès d'humidité dans le second cas. Nous serions alors en présence ici d'un facteur atteignant deux valeurs-seuil opposées.

La strate 3 ne présente qu'un taux d'abandon des cultures ou des prairies relativement faible. Quant à la strate 2, nous n'en avons pas tenu compte car les effectifs étaient trop faibles, la grosse majorité des parcelles ayant été abandonnée avant 1942.

4.2. ÉVOLUTION DES TAUX D'ABANDON DANS LE TEMPS.

Aussi bien pour les prairies que pour les cultures, pour la strate 0, on peut mettre en évidence un

ajustement linéaire des taux d'abandon en fonction du temps. Les droites d'ajustement ainsi obtenues sont significativement parallèles, mais décalées, les taux d'abandon des cultures étant nettement supérieur aux taux d'abandon des prairies.

Au niveau de la strate 3, on n'a pas pu mettre en évidence de façon significative une variation des taux d'abandon dans le temps. Quant à la strate 1, il y a bien modification des taux d'abandon de décennie en décennie, mais cette modification n'est pas linéaire et nous n'avons pas recherché d'ajustement d'ordre supérieur.

4.3. LES CAUSES DE L'ABANDON.

Nous recherchons si parmi les sept variables écologiques retenues une ou plusieurs d'entre elles expliquent des différences entre divers sous ensembles de parcelles. Nous nous limiterons à la strate 0, et ne donnerons que les résultats généraux.

Considérant les parcelles abandonnées avant 1942 et les parcelles abandonnées après cette date, on montre que toutes les variables à l'exception de la variable énergie diffèrent d'un sous ensemble à l'autre. Ceci traduit de façon numérique la progression centrifuge de l'inculture. Après 1942, on peut montrer que l'abandon des prairies est surtout lié à la position topographique des parcelles et à la variable énergie. Les prairies tendent à occuper aujourd'hui les situations basses sur les pentes et les niveaux énergétiques les plus bas.

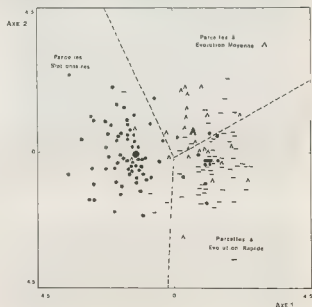
L'abandon des cultures conduit à des conclusions différentes. Celles-ci se concentrent sur les pentes les plus faibles et en bordure des voies d'accès.

Sur le plan de l'interprétation, il semblerait donc que pour les cultures on puisse parler d'un facteur de facilité de travail de la parcelle (pente faible et accès aisé), alors que pour les prairies on puisse plutôt parler d'un facteur de rentabilité vis-à-vis de la production assurée par ces prairies. Les situations les plus humides (bas de pente) et les plus fraîches (niveau énergétique faible) sont préférentiellement recherchées.

4.4. LE DEVENIR DES PARCELLES ABANDONNÉES.

Lorsqu'une parcelle est abandonnée, elle tombe sous l'emprise des phénomènes classiques de la dynamique du paysage. Les facteurs socio-économiques qui étaient sous jacents dans l'étude de l'abandon (et dont nous n'avons pas tenu compte) n'interviennent plus ici. Théoriquement, une parcelle abandonnée doit atteindre un stade boisé plus ou moins rapidement.

Qualitativement nous avons pu définir des parcelles à évolution rapide, qui atteignent le bois en trente années au moins, des parcelles à évolution moyenne, qui atteignent le stade de lande boisée, et des parcelles à évolution stationnaire qui restent au stade lande pendant trente années. Nous avons effectué une analyse discriminante sur ces trois sous ensembles et montré qu'on pouvait très bien isoler les deux sous ensembles extrêmes, mais très mal le sous ensemble à évolution moyenne (fig. 1). Le premier axe discriminant lié surtout aux variables altitude et énergie assure un maximum de discri-



mination entre les deux sous ensembles extrêmes, les parcelles stationnaires étant liées aux situations de basse altitude et à niveau énergétique élevé. Nous avons repris ces deux sous ensembles et recherché la fonction discriminante les séparant au mieux. Celle-ci nous assurait un pourcentage de 88,1 % de parcelles bien classées avec seulement deux variables initiales. L'utilisation de parcelles tests, n'ayant pas servi à l'analyse, conduit également à de bons résultats puisque les pourcentages de parcelles bien classées atteignent 85,7 % pour des parcelles à évolution rapide.

Le modèle de classification fourni par la fonction discriminante semble donc assez valable; il permettrait, théoriquement du moins de dresser la liste des parcelles abandonnées récemment et appartenant à une typologie à évolution rapide ou à une typologie stationnaire. La fonction discriminante obtenue $f = -0.3609 \text{ ALT} + 0.7002 \text{ ENE}$ conduit à la règle de décision suivante :

$f < -43.878$ parcelle à évolution rapide
 $f > -43.878$ parcelle stationnaire.

Cependant cette règle de décision n'est valable que pour des périodes de temps relativement limitées. En effet l'altitude intègre en fait un effet de masse dû à la proximité des porte-graines. Or, cet effet de masse se modifie en fonction du temps.

CONCLUSION

La cartographie diachronique permet d'aborder le problème important de la dynamique d'un paysage. Les méthodes quantitatives utilisées ont permis

d'exprimer et de proposer des explications d'un phénomène complexe. La fonction discriminante s'est avérée être une bonne méthode de classification : son utilisation sur des données légèrement modifiées ou plus complètes permettrait d'avancer un modèle mathématique plus élaboré de la dynamique d'un paysage. Un tel modèle aurait dans une perspective plus ouverte des implications économiques non négligeables puisque l'ensemble des terres abandonnées constitue le premier état d'un système dont l'état terminal devrait être représenté par un stade forestier.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMITAGE (P.), 1955. — Tests for linear trends in proportions and frequencies. *Biometrics*, 11, 375-386.
- BONNET (L.) et SOULIE-MARSCHÉ (I.), 1971. — Méthodes quantitatives en paléontologie : quelques applications à l'étude des charophytes. *Bull. Soc. Hist. Nat de Toulouse*, 107, 28-57.
- COOLEY (W.W.) et LOHNE (P.R.), 1971. — Multivariate data analysis. Wiley & Sons, 364 p.
- FLEISS (J.L.), 1973. — Statistical methods for rates and proportions. Wiley & Sons, 223 p.
- MAXWELL (A.E.), 1971. — Analysing Qualitative Data. Chapman & Hall, 163 p.
- RAO (C.R.), 1952. — Advanced statistical methods in biometric research. Wiley & Sons.
- ROMÉDER (J.M.), 1973. — Méthodes et programmes d'Analyse Discriminante. Dunod, 274 p.
- SNEATH (P.M.A.) et SOKAL (R.R.), 1973. — Numerical Taxonomy. The principles and practice of numerical classification. Freeman, 573 p.



MÉTHODE ANALOGIQUE DE CARTOGRAPHIE DE L'ENSOLEILLEMENT THÉORIQUE JOURNALIER

par Cl. ARLES

Service de la Carte de la Végétation C.N.R.S.
29, rue Jeanne-Marvig, 31055 Toulouse Cedex

SUMMARY

Un modèle en relief réalisé d'après une carte topographique est éclairé par un projecteur selon des incidences correspondant aux diverses positions du soleil. Les traces des ombres (sciagrammes) obtenues sont photographiées et tramées. La superposition des sciagrammes donne une carte des ombres dont sont déduites les durées d'ensoleillement théorique. L'interprétation colorée des sciagrammes fait apparaître les séquences d'ensoleillement. La carte des seuils d'énergie est élaborée selon la même méthode mais les sciagrammes sont réalisés en fonction des hauteurs de soleil auxquelles correspondent des valeurs d'énergie.

A model in relief was constructed from a topographic map; a light shone in this model for numerous different positions corresponding to the movement of the sun. The lines of the shadows thus created were photographed and "screened". By putting these "sciagrammes" on top of each other, a map of the different levels of solar energy can be drawn up using the same method.

L'ensoleillement étant un facteur climatique important, il paraît intéressant d'étudier la distribution de ce phénomène dans l'espace géographique, d'en faire une carte afin d'intégrer ce document comme élément de synthèse ou de comparaison dans des études climatiques ou écologiques.

ment surtout caractérisé par ses longueurs d'onde, l'autre quantitatif, fonction de l'intensité et du temps pendant lequel ce rayonnement agit. C'est ce dernier facteur, la durée de l'ensoleillement, que nous allons étudier.

1. — CARTE DES DURÉES D'ENSOLEILLEMENT (Atlas : cartes 12 à 14)

L'action du rayonnement solaire peut se présenter sous deux aspects, l'un qualitatif, nature du rayonne-

Pour cela, nous proposons dès 1965 une technique dont le principe consiste à considérer l'espace géographique comme un cadran solaire dont on conserverait les images des ombres (sciagrammes). La superposition de ces sciagrammes sur un fond cartographique de la région étudiée constituera un document qui nous renseignera à la fois sur les durées d'ensoleillement et les heures de la journée au cours desquelles les différents points de la surface cartographiée auront subi le rayonnement solaire direct.

En 1972, MM DENEGRÉ et LACOMME-LAHOUE-GUETTE de l'Institut Géographique National ont mis au point une méthode numérique de cartographie des durées d'enselement. Ayant eu connaissance de nos travaux, ils ont entrepris leur étude sur une des régions que nous avions cartographiée afin de comparer nos résultats.

Le terme d'enselement théorique s'appliquera à l'enselement produit par une marche apparente régulière du soleil sans tenir compte des nébulosités, par opposition au terme d'enselement réel qui sera l'enselement théorique modifié par la présence de l'atmosphère altérant cette marche apparente près de l'horizon — ce qui sera négligeable dans le cas qui nous intéresse — et surtout par la présence des nébulosités. Il s'agira d'enselement journalier, parce qu'il paraît plus intéressant pour le moment de considérer les cas extrêmes d'enselement ou de pouvoir les comparer entre eux que de considérer l'année entière. De plus, la cartographie journalière, peut permettre d'établir par exemple des corrélations entre des phénomènes naturels chez les êtres vivants et les durées d'enselement à des dates précises au cours de l'année.

Examinons une des cartes; elle nous apparaît avec un fond simplifié sur lequel on a superposé des sciagrammes tramés produisant un pourcentage d'impression plus ou moins dense. Cette densité étant proportionnelle à la durée d'ombre, les parties les plus claires de cette carte seront les surfaces les plus éclairées sur le terrain. Pour la rédaction de la légende, cette représentation entraîne la confection d'une échelle de densité aux divisions de laquelle on attribue les durées d'enselement correspondantes. Dans cette légende, nous trouvons en première ligne les différentes orientations des hachures qui indiquent les heures locales vraies des sciagrammes. En seconde ligne figure l'échelle de densité, un chiffre exprimant pour chaque niveau le nombre de superpositions. En troisième ligne, sont portées les durées d'enselement correspondant à chaque case de cette échelle (variation de densité de l'échelle).

Le principe consiste à photographier à la verticale une carte en relief disposée horizontalement et successivement éclairée selon des incidences correspon-

dant à différents moments de la journée déterminés à l'avance pour une époque donnée de l'année. L'empilement des positifs tramés (sciagrammes) sur un fond plus ou moins simplifié de la région étudiée constituera la carte finale. Pour réaliser une telle carte, il faut d'abord être fixé sur l'usage que l'on doit en faire avant de déterminer l'échelle qui est également fonction de la précision voulue. A titre d'exemple, pour l'échelle définitive de 1 : 100 000, une carte en relief à une échelle voisine nous a paru suffisante.

Nous réaliserons donc plusieurs opérations :

1.1. CONFECTION DE LA CARTE EN RELIEF.

Des conditions essentielles sont à respecter; il faut d'abord que l'altimétrie et la planimétrie soient à la même échelle et si l'on veut utiliser une carte en relief déjà existante, il faut alors s'assurer de l'équivalence de ces deux échelles. Il faut ensuite tenir compte des obstacles du relief se trouvant en dehors de la région à étudier; ils peuvent projeter leur ombre sur cette région à certaines heures de la journée, particulièrement aux heures où le soleil est bas sur l'horizon. Enfin, si la carte en relief est composée de plans successifs matérialisant les courbes de niveau, c'est-à-dire donnant l'impression d'un paysage en terrasses, il faut alors combler ces « marches d'escalier » qui donneraient des ombres portées là où il ne devrait pas y avoir d'ombre.

En dernier lieu, la carte en relief doit être uniformément blanche et on doit aussi conserver le contrôle de l'horizontalité de la carte.

Pour la carte que nous donnons en exemple, nous avons procédé de la façon exposée ci-après :

— tracé sur un support transluide stable des courbes de niveau tous les 100 mètres d'après une carte topographique I.G.N.;

— par procédé photographique, le tracé obtenu est mis à l'échelle de l'épaisseur du carton existant, en effet, cette dernière détermine l'échelle du modèle;

— duplication de ce tracé à l'échelle et collage sur carton;

— découpage des différents niveaux, assemblage et confection d'un cadre de moulage;

— une empreinte négative de ce relief en élastomère (1) sert ensuite de moule pour une copie en plâtre dont les courbes de niveau sont lissées par remplissage d'enduit (2) au pinceau;

— retouches au grattoir ou à la pointe (falaises, thalwegs, réseau hydrographique);

— élimination des granulations possibles du plâtre et peinture en blanc mat.

1.2. DÉTERMINATION DES HEURES DE PRISES DE VUE.

En possession des coordonnées de la carte à établir (latitude moyenne et longitude moyenne) et de l'époque d'ensoleillement choisie, on doit d'abord rechercher les heures vraies locales du lever et du coucher du soleil à la date désirée. On trouvera ces renseignements dans les annuaires astronomiques mais en Temps Universel, il faut donc leur apporter les corrections en fonction de la longitude du lieu et de l'équation du temps de l'époque (3). On choisira l'heure ou la demi-heure voisine au lever et au coucher; la différence entre ces deux temps sera divisée en un certain nombre de parties égales, huit au maximum (soit 9 cases à la légende) pour une simple raison graphique, la superposition de plus de 9 hachures différemment orientées faisant apparaître du « moirage ». C'est cette division qui détermine les heures de prises de vue.

1.3. PRISE DE VUE.

Elle consiste à photographier avec une émulsion à grands contrastes — films pour arts graphiques(4) — la carte en relief aux différentes heures de la journée déterminées à l'avance. La carte sera

placée sur un plateau recouvert d'un papier noir et on photographiera en même temps deux repères de préférence lumineux et en information marginale la date et l'heure correspondantes à la prise de vue. Ces repères seront nécessaires lors de l'empilement des sciagrammes (fig. 1). Cette prise de vue sera réalisée à l'aide d'une chambre photographique dont l'axe optique vertical sera normal au plan horizontal de la carte; de plus on aura intérêt à opérer avec un objectif à longue focale afin de réduire le plus possible la distorsion de l'image sur les bords provoquée par la projection conique de la photographie.

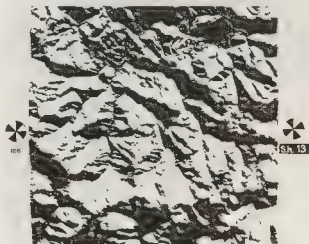


FIG. 1

Le soleil sera ici remplacé par un projecteur à lentilles de Fresnel donnant un faisceau de rayons lumineux parallèles, monté sur un pied télescopique. Les différentes positions de cette source lumineuse par rapport à la carte en relief pourront être déterminées, soit par le calcul de leurs coordonnées horizontales, hauteur et azimut (5), soit, comme nous

(5) Ce calcul se fait à l'aide de deux formules de trigonométrie sphérique.

Pour la hauteur h :

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos AH$$

Pour l'azimut a :

$$\sin a = \cos \delta \cdot \sin AH / \cos h$$

en fonction de la latitude du lieu φ , de la date (déclinaison du soleil) δ et de l'angle horaire AH.

(1) Rhodorsil R.T.V. 573 A de Rhône Poulenc.

(2) Albastine.

(3) On peut aussi les obtenir par le calcul à l'aide des formules utilisées plus loin.

(4) Colloidum n° 5 des Etablissements Guilleminot par exp.

l'avons fait, à l'aide d'un appareil que nous avons appelé *héliorestituteur*. Il a pour but de restituer, pour un point donné de la surface de la terre dont on connaît la latitude, la position du soleil à toutes les heures de toutes les époques de l'année. Son principe (fig. 2) est le suivant : considérons un point P pris à la surface de la terre supposée immobile, la sphère céleste tournant autour de celle-ci en 24 heures. Par P pris comme point de tangence à la sphère terrestre, nous ferons passer un plan (plan horizontal terrestre) qui sectionnera la sphère céleste pour former l'horizon du point P. La latitude de P déterminera l'inclinaison de l'axe des pôles. La marche apparente du soleil, située sur la sphère céleste se déplacera au cours de l'année de part et d'autre de l'équateur céleste (qui se confond avec la marche apparente du soleil aux équinoxes) d'un arc de $23^{\circ}27'$ vers le pôle Nord ou vers le pôle Sud selon la saison.

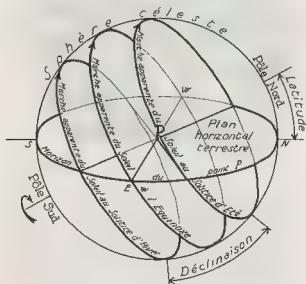
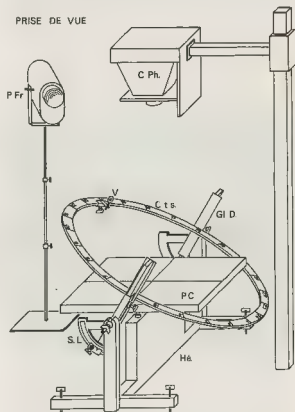


FIG. 2.

1.3.1. Description de l'héliorestituteur (fig. 3). Le plan horizontal terrestre est fixe puisqu'il doit supporter la carte en relief. La marche apparente du soleil est matérialisée par un cercle divisé en 24 heures et portant un viseur mobile. L'inclinaison de ce

cercle par rapport au plan horizontal terrestre sera fonction de la latitude du lieu et le déplacement perpendiculaire de ce cercle à son plan sera, lui, fonction de la déclinaison. Pour un point situé aux pôles, ce cercle sera parallèle au plan horizontal terrestre et perpendiculaire pour un point se trouvant sur l'équateur.



C. Ph. Chambre photographique. P. Fr. Projecteur à lentilles de Fresnel.

Hé Héliorestituteur. P. C. Plateau porte carte en relief, réglable en hauteur.

S. L. Secteur gradué en degrés de latitude. G. I. D. Élémentaire, parallèle à l'axe des pôles, gradué en degrés de déclinaison + ou -.

C. t. s. Cercle "trajectoire solaire", perpendiculaire à l'axe des pôles, divisé en 24 heures. V Viseur mobile sur le cercle "trajectoire solaire".

FIG. 3.

1.3.2. *Utilisation.* Il faut d'abord s'assurer du parallélisme entre les plans du négatif et du plateau porte-carte en agissant au besoin sur les vis calantes de l'appareil. Mettre ensuite les valeurs de la déclinaison et de la latitude en face de leurs repères. Placer la carte en relief au centre du plateau et l'orienter (le Sud vers le Midi pour l'hémisphère Nord). Faire varier le niveau du plateau de façon que l'axe EW des tourillons, matérialisé par un fil tendu, soit tangent au niveau du centre de la carte. Mettre le viseur en face de l'heure désirée et disposer le projecteur de telle façon que l'ombre portée de ce viseur apparaisse au centre de la carte. Retirer ou basculer le grand cercle du support pour ne pas avoir son ombre sur la carte. On peut alors impressionner le cliché.

1.4. RÉALISATION DES SCIAGRAMMES (fig. 4).

Pour cela on utilisera les négatifs obtenus lors de la prise de vue précédente comme « masques ». Deux possibilités s'offrent à nous, l'obtention des positifs par tirage direct ou par agrandissement. Par tirage direct nous conservons l'échelle du négatif : on mettra en contact le négatif de l'ombre avec le négatif de la trame hachurée et l'ensemble en contact avec un film vierge qui donnera, après expo-

sition à la lumière et développement, une image positive de la trame, mais seulement là où le négatif de l'ombre aura laissé passer la lumière. Par agrandissement, l'échelle du négatif peut être modifiée : on projettera le négatif de l'ombre sur un film vierge, mais en interposant entre eux le négatif de la trame que l'on aura placé en contact avec le film vierge. Dans les deux cas on aura soin de changer l'orientation des hachures de la trame pour chaque sciagramme afin de les rendre superposables.

1.5. RÉDACTION DÉFINITIVE DE LA CARTE.

En premier lieu, il conviendra de superposer les différents sciagrammes obtenus, puis de photographier cet ensemble afin d'effectuer les différentes retouches nécessaires. Il faudra en outre établir le fond repère : ce sera un schéma topographique dérivé du document de base ayant servi à la confection de la carte en relief. La mise en place de l'ensemble tramé des sciagrammes sur le fond repère, la rédaction de la légende et l'habillage général seront les dernières opérations de l'élaboration de la carte.

2. — CARTE DES SÉQUENCES D'ENSOLEILLEMENT JOURNALIER

(Atlas carte 15)

2.1. PRINCIPE.

Il s'agit d'une carte qui met en évidence la nature de l'enseillement en fonction de la ou des périodes de cet enseillement au cours de la journée divisée en trois séquences, matinée, milieu de la journée et soirée.

Pour représenter la répartition spatiale de ces séquences d'enseillement au cours de la journée, nous avons attribué à trois d'entr'elles respectivement les couleurs suivantes :

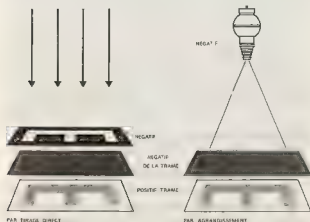


Fig. 4.

Vert pour l'ensoleillement matinal.
 Rouge pour l'ensoleillement méridien.
 Bleu pour l'ensoleillement vespéral.

Ces couleurs ont été choisies pour leur valeur écologique : elles s'inscrivent dans l'échelle chromatique utilisée par la Carte de la Végétation et permettent ainsi une comparaison avec elle.

On peut donc supposer le modèle en relief éclairé simultanément par trois soleils rayonnant respectivement dans ces trois couleurs primaires et occupant 3 positions moyennes de la trajectoire solaire journalière (fig. 5).

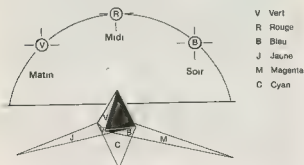


FIG. 5

Chacun de ces soleils éclaire les ombres produites par les 2 autres traduisant ainsi d'autres séquences par des couleurs obtenues par synthèse additive :

rayonnement Rouge + rayonnement Bleu
 = Magenta

rayonnement Vert + rayonnement Rouge
 = Jaune

rayonnement Vert + rayonnement Bleu
 = Cyan

Une légende peut être élaborée selon le schéma suivant où l'absence d'ensoleillement est traduit par du Noir et l'ensoleillement maximum par du Blanc. Six séquences traduites par les 3 couleurs primaires et leurs 3 complémentaires s'inscrivent entre ces deux extrémités (fig. 6).

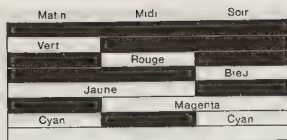


FIG. 6.

2.2. RÉALISATION.

Cette carte procède de la carte des durées d'ensoleillement dont on utilise les sciagrammes. Un sciagramme étant la représentation de la répartition d'une ombre à un moment de la journée, donc éclairé aux autres moments de la journée, sera traduit par la couleur complémentaire de celle de la radiation l'engendrant.

Deux types de cartes peuvent être établis selon ce principe :

— une carte simplifiée en n'utilisant que 3 sciagrammes, celui du milieu de la matinée (9 h au solstice d'hiver par exemple) représenté en Magenta, le sciagramme de Midi en Cyan et celui du milieu de la soirée (15 h du solstice d'hiver par exemple) représenté en Jaune. La superposition de ces sciagrammes entr'eux fait apparaître les autres séquences traduites en Vert, Rouge et Bleu.

— une carte plus détaillée, construite selon le même principe mais utilisant tous les sciagrammes de la carte des durées d'ensoleillement qui sont au nombre de 9. Ils sont séparés en 3 groupes de 3 sciagrammes (8 h, 9 h, 10 h-11 h, 12 h, 13 h-14 h, 15 h, 16 h — pour le solstice d'hiver par exemple), matinaux, méridiens et vespéraux, traduits respectivement en Magenta, Cyan et Jaune.

Dans chacun des trois groupes, 3 sciagrammes tramés sont superposés donnant ainsi un dégradé de la couleur du groupe composé d'une, deux ou trois trames. Ceci entraîne les compositions colorées suivantes :

Magenta 1	Magenta 2	Magenta 3
Cyan 1	Cyan 2	Cyan 3
Jaune 1	Jaune 2	Jaune 3

Elles se combinent entr'elles lors de la superposition des 3 groupes entraînant ainsi un très grand nombre de cas de séquences ce qui rend la carte très nuancée. La légende correspondante, risquant par sa complexité de devenir illisible, ne peut demeurer que simplifiée.

Le but de cette carte est de permettre une mise en évidence des séquences d'enseillement qui n'apparaissent pas sur les cartes des durées d'enseillement. Ces deux types de cartes sont complémentaires, les unes à vocation métrique, les autres à vocation de zonation.

2.3. CONCLUSION.

La carte proposée ici n'a pas été construite selon la méthode logique de rédaction d'une carte, c'est-à-dire, pour un thème donné : choix de l'échelle et des valeurs de ce thème, recherche et localisation de ces valeurs dans l'espace géographique, report des données sur un fond repère, tracé des courbes réunissant les mêmes valeurs entre elles. Elle s'est élaborée au fur et à mesure du déroulement du phénomène qui réside dans la modification au cours de la journée de la répartition des surfaces d'ombre et de soleil. On a fixé sur le fond repère les divers instantanés pris régulièrement tout au long de la phase enseilée de la journée et c'est seulement de ce document que nous pourrions tirer des valeurs numériques. C'est lui qui nous renseignera sur telle durée d'enseillement en un point quelconque de la carte.

Si l'on examine de plus près la carte ou sa légende, on s'aperçoit que, pour un point quelconque de la surface de la carte, nous n'aurons pas une valeur précise de la durée d'enseillement mais une estimation comprise entre deux valeurs. Le déplacement de l'ombre au cours de la journée n'étant pas un mouvement uniforme, on pourra difficilement interpoler

entre ces deux valeurs. De plus, le fait que les différentes positions du soleil déterminant les tracés des ombres sur les sciagrammes sont calculées ou obtenues à partir des coordonnées géographiques d'un point situé au milieu de la carte limite l'extension de cette cartographie.

Néanmoins, si les renseignements fournis par cette carte, n'ont pas une précision comparable aux données enregistrées localement par un héliographe par exemple, ils conservent le mérite de donner une vue d'ensemble du phénomène et des évaluations des durées d'enseillement simultanées pour une région donnée.

On pourra donc utiliser cette carte, soit comme instrument d'estimation des durées d'enseillement, soit comme illustration des conditions générales de l'enseillement à une époque donnée de l'année, ou encore comme élément de cartographie analytique dans le cadre d'une étude de synthèse climatique ou géographiquement d'une région.

3. — CARTES DES SEUILS D'ÉNERGIE

(Atlas : carte 16)

Connaissant le lien qui existe entre la hauteur du soleil et la valeur énergétique de son rayonnement reçu à la surface de la Terre, nous avons été tenté de proposer un essai de représentation cartographique de ce facteur, en exprimant la répartition des hauteurs du soleil au-dessus de l'horizon.

3.1. PRINCIPE.

Une hauteur de soleil est matérialisée par l'ombre engendrée par les reliefs interceptant ses rayons. La limite de cette ombre sépare d'une part les surfaces qui reçoivent des rayons sous une incidence égale ou inférieure à cette hauteur et, d'autre part, les surfaces à l'ombre qui ne seront enseilées qu'à des hauteurs supérieures.

3.2. RÉALISATION.

Le principe en est le même que pour la réalisation de la carte des durées d'ensoleillement. Après avoir choisi les hauteurs à représenter en fonction des valeurs énergétiques qu'elles représentent, on détermine les heures de passage du soleil pour ces hauteurs par application des formules de détermination des coordonnées horizontales solaires ou par utilisation d'abaques.

A partir d'un modèle en relief et en fonction de ces données, les prises de vues sont effectuées à l'héliorestituteur. Des négatifs obtenus sont tirés des positifs tramés (sciagrammes). Ceux-ci sont regroupés par 2, le soleil passant 2 fois à la même hauteur au cours de sa trajectoire journalière. Une trame et une couleur sont attribuées à chaque hauteur, l'orientation de la trame changeant selon le moment de la journée (matin et soir).

Le document final est constitué par la superposition en 3 couleurs (jaune, magenta et cyan) des 3 groupes de sciagrammes correspondant aux 3 hauteurs envisagées dans les cartes proposées ici. Cet ensemble est ensuite habillé d'un fond topographique simplifié, d'une légende et d'un tableau de données solaires (hauteur, énergies, heures des passages et durées d'insolation). Sur cette carte, les surfaces en blanc reçoivent l'énergie de toutes les hauteurs de soleil, les surfaces en jaune ne recevant que celle des hauteurs supérieures à 10°, les surfaces en magenta, celles des hauteurs supérieures à 17° et les surfaces en cyan, celles des hauteurs supérieures à 33°. Nous avons, en plus, figuré en noir l'ombre correspondant à la culmination du soleil.

3.3. APPLICATIONS.

Les cartes présentées ici ne sont que des essais et il est certain que la représentation d'un nombre plus grand de hauteurs rendrait la carte plus nuancée. Un tel document devrait guider des utilisateurs tels qu'aménagistes, urbanistes ou architectes par exemple dans le choix de la localisation d'habitats solaires ou pour une meilleure adaptation des systèmes d'utilisation de l'énergie solaire (types ou dimensions de capteurs par exemple) dans les habitations existantes en fonction de leurs situations géographiques. Dans un autre domaine, cette cartographie permet de mettre en évidence les conditions mésoclimatiques particulières de certaines situations topographiques. Par exemple, les surfaces représentées en cyan passent, au printemps, brusquement du gel nocturne à une irradiation de 900 w/m² provoquant un dégel brutal ayant des conséquences sur certaines roches, le sol, la végétation et la microfaune. Dans ce domaine, cette carte peut contribuer à la mise en place d'une chaîne bioclimatique expérimentale pour affiner la connaissance de ces mésoclimats particuliers en montagne.

BIBLIOGRAPHIE

- DENÈGRE et LACOMME-LAHOURETTE, 1973. — Ensoleillement numérique. *Bulletin d'information I.G.N.*, 23, Paris.
- GRISOLLET (M.), GUILMET (B.) et ARLERY (R.), 1962. — Climatologie, Méthodes et pratiques. Monographie de Météorologie, Gauthier-Villars, Paris, 400 p.
- PERRIN DE BRICHAMBAUT (Ch.), 1963. — Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels. Monographies de Météorologie, Gauthier-Villars, Paris, 300 p.
- ROHR (René R.J.), 1965. — Les cadrans solaires. Gauthier-Villars, Paris. 210 p.

UNE ALTERNATIVE ÉNERGÉTIQUE DANS LE DONEZAN-CAPCIR-CERDAGNE : L'ÉNERGIE SOLAIRE

par P.J. ROCA

Service de la Carte de la Végétation C.N.R.S.
29, rue Jeanne-Marvig, 31055 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

Cet article présente une partie des recherches méthodologiques concernant « la sitologie » de l'utilisation de l'énergie solaire. La méthode de recherche des sites de centrales HTE est fondée sur une étude de cartographie paramétrique. La synthèse est soustractive. Enfin l'utilisation décentralisée de l'E.S. est envisagée comme une solution possible aux problèmes d'énergie en montagne.

SUMMARY

In the scope of our research on solar energy, this paper gives a brief account of the S.C.V.'s activities in methodological research into localisation in solar energy utilisation.

The method is based on cartographical studies; the analysis for choosing sites for HTE centrals involves many parameters : topography, exposure, declivity, number of sunshine hours, map of the vegetation, and land use. The superposition of the different parameter maps leads to a synthesis. Finally a possible way of resolving the energy problem in mountains ranges is based in decentralized solar energy utilisation.

La distribution de l'énergie solaire sur la surface d'une zone géographique limitée comme celle du Donezan-Capcir-Cerdagne joue un rôle important, tant dans les processus d'abandon des activités traditionnelles d'utilisation des ressources naturelles (phénomène d'« inculture »), que dans les formes modernes d'exploitation de ces dites ressources, notamment par l'utilisation d'autres voies de transformation de l'énergie — (un pâturage et une centrale Helio-Thermo-Electrique « marchent » tous deux à

l'énergie solaire mais ni les voies de transformation et de stockage, ni les rendements ne sont identiques).

Le facteur énergie solaire joue un rôle explicatif dans les dimensions statiques et dynamiques des problèmes : tout d'abord dans la dimension statique le facteur énergie explique en partie le paysage agrosylvo-pastoral traditionnel (cultures en soulanes, prairies de fauche en ombrée par exemple); ensuite, dans la dimension dynamique, le facteur énergie intervient dans les processus d'abandon (les prairies

en ombrée, de faible productivité, sont abandonnées; importance aussi de la répartition de l'énergie solaire qui joue un rôle dans la fonction discriminante pour distinguer les groupes de parcelles stationnaires ou à évolution rapide).

Nous nous limiterons ici à des exemples tirés d'autres parties du rapport général : en effet, les processus d'inculture ont fait l'objet de description (par des « modèles d'inculture » et des « modèles de substitution ») et d'évaluation (par des méthodes quantitatives) qui ont largement montré en quoi la répartition de l'énergie solaire jouait un rôle moteur dans l'explication des phénomènes.

On voit ici se dessiner nos préoccupations : l'étude de la répartition de l'énergie solaire peut-elle « nourrir » le « modèle d'aménagement » ? On peut sur la base de cette étude répondre par l'affirmative et déjà miser à la lumière de récentes conclusions provisoires du programme P.I.R.D.E.S. (Programme Interdisciplinaire de Recherche et Développement de l'Energie Solaire) du C.N.R.S. sur un grand développement de l'utilisation de l'énergie solaire.

La cartographie analogique de l'ensoleillement sous ses trois formes (cf. Cl. ARLES, Ensoleillement théorique journalier, Séquences d'ensoleillement journalier et Seuils d'énergie solaire potentielle) peut avoir des applications orientées :

- soit vers la sélection de sites de centrales Héliothermo-Electrique HTE;
- soit vers la collecte décentralisée pour unités de consommation réduite (capteurs plans, chauffe-eau solaires, climatisation de maisons individuelles, etc.).

I. — LA SÉLECTION DES SITES DE CENTRALES ELECTRO-SOLAIRES

Si, comme le bon sens, l'énergie solaire était la chose du monde la mieux partagée, il n'y aurait guère de problèmes pour installer des centrales électro-solaires... En fait, cette énergie est différemment

distribuée, et encore plus différemment perçue ! Une fois perçue, pour être utilisée, elle doit être transformée. Nous apercevons déjà le schéma d'une étude possible des sites d'implantation :

— distribution directe selon un climat (dans le cadre de cette étude, nous nous sommes situés dans une région comprise dans la zone des 2 700 heures de soleil/an au point le plus favorable);

— perception différenciée selon un micro-climat (la topographie crée des masques) et suivant une physiographie diverse (orientations, pentes);

— transformation et utilisation à moindre coût (critères géométriques, accès du site, facilité de distribution de l'énergie).

1. BUT ET PRINCIPE DE LA MÉTHODE.

Le but de cette méthode est de donner aux maîtres d'œuvre les outils de décision nécessaires dans le choix d'un site de centrales. L'approche à la fois écologique et technique se fait par analyses et synthèses successives de différents facteurs, dont la pondération est laissée au choix des décideurs. Cette cartographie ne conduit pas à sens unique vers une seule solution, mais constitue un outil dont il faut apprendre à se servir pour pouvoir moduler les résultats.

A partir de données physiographiques offrant un libre choix aux implantations, on procède par classements successifs de larges surfaces de terrain en fonction des critères de pente, d'orientation et d'ensoleillement; la carte de la végétation apporte, quant à elle, confirmation ou infirmation de la première synthèse en fonction du caractère héliophile ou sciaphile des séries de végétation. Cet inventaire par exclusion est orienté ensuite par le choix d'un système proposé de valeurs (compatibilités — incompatibilités avec l'environnement), et de critères de paysage. Enfin, une proposition de synthèse finale, tant écologique que technique, donne une direction possible pour une sélection des sites.

Un ensemble constitué de 1 500 héliostats et d'une tour supportant la chaudière réceptrice représente un « module » de production. Le site minimum pour

la mise en place d'un « module » répond donc à plusieurs conditions :

- terrain géotechniquement apte (—il doit supporter, sans craindre les glissements de terrain et sans entraîner l'ouverture d'un coûteux chantier de fondations, le poids des 1 500 héliostats, des systèmes d'orientations de ceux-ci, de la tour et des installations annexes;

- exposition Sud (avec une marge Est-Ouest de 30°);

- pente d'environ 6 à 18° (de telle façon que les miroirs ne se fassent pas de l'ombre mutuellement et que la hauteur de la tour ne dépasse pas des dimensions telles qu'on ne puisse plus assurer la parfaite rigidité de l'ensemble — contrainte d'optique géométrique);

- surface d'au moins 40 ha : surface nécessaire pour un tassement maximum des 1 500 miroirs, tassement qui doit répondre à deux contraintes antagonistes :

- les héliostats doivent se faire le moins d'ombre possible entre eux;
- les héliostats les plus éloignés de la chaudière doivent avoir une précision de pointage de l'ordre de quelques milliradians.

Ces conditions constituent « les critères géométriques » de choix du site. Les critères écologiques apportent, d'une part, un affinement de la méthode et, d'autre part, permettent d'envisager de prendre en compte les « externalités » (coûts et conséquences retro-actifs pour le milieu et la collectivité).

2. L'INVENTAIRE.

La zone de montagne étudiée va nous offrir des contrastes très sensibles et la multitude de cas de figure va requérir une fine analyse, paramètre par paramètre, pour mettre en valeur toute la complexité de chaque « *facette écologique* ».

2.1. *La carte de base* (Atlas Planche 19). C'est un fond topographique au 1/150 000 d'après les cartes

IGN, sur lequel ont été portées les routes, les principales rivières et les « lignes à haute-tension », exprimant ainsi la possibilité pour une centrale d'être raccordée au réseau de transport du courant. Les routes témoignent de l'accessibilité plus ou moins favorable de tel ou tel site.

2.2. *La carte des orientations des facettes du relief* (Atlas Planche 20). Cette carte du *paramètre orientation* peut servir selon deux axes d'application : tout d'abord, pour l'exposition à l'ensoleillement (l'exposition la plus favorable pour un champ de miroirs étant évidemment « plein Sud »), mais aussi pour l'exposition à un phénomène météorique gênant pour l'exploitation de la centrale.

Nous pouvons citer en exemple le vent violent d'un secteur donné ou de fréquents orages de grêle dont les trajectoires sont connues « probabilistiquement ». Dans la région de Mont-Louis les orages venant du Sud-Ouest et remontant la Cerdagne vers le Nord-Est sont les plus à craindre. Ils « attaquent », donc, presque de plein fouet les flancs Sud sur lesquels peuvent être installés les champs d'héliostats.

L'analyse de la carte des orientations permet en outre un zonage d'approche des problèmes d'aménagement. On voit nettement s'individualiser plusieurs sous-régions :

- sous-région 1 : plateau du Capcir et versant Ouest du Massif du Madrès très étiré du Nord au Sud sur la bordure orientale de la zone (H à N; 18-19);

- sous-région 2 : Donezan, (limitée par C 19, C 15, H 14, I 17), ensemble de facettes où l'orientation Nord domine largement tandis qu'un grand nombre de versants Est font contrepoids à la terminaison Nord du grand versant Ouest (E, F, G, H 20) de la sous-région n° 1;

- sous-région 3 : complexe montagneux dans lequel seule la grande diversité d'orientations des facettes et leur faible étendue (mis à part la vallée du Carol, constituée par un dièdre incurvé assez régulier) permettent de voir une unité;

— sous-région 4 : plaine de Cerdagne et soulane de Mont-Louis-Font-Romeu : c'est à l'évidence la région privilégiée par son orientation et son cadre pour l'ensoleillement;

— sous-région 5 : la succession de dièdres Est-Ouest relayés par l'ombrée de la vallée en fait une région bien particulière, peu intéressante sous le seul angle du facteur orientation, pour l'installation de centrales HTE (au Sud de la ligne qui joint Q 20 à $\times$ 10).

2.3. *La carte des pentes* (Atlas planche 21). Compte-tenu des critères imposés par la technologie utilisée, le « champ de miroirs » étant un secteur du cercle au centre duquel est dressée une tour, nous avons cartographié les pentes en les rangeant en 3 classes :

— pentes moyennes de 6 à 18°, très favorables à l'installation de centrales;

— pentes nulles ou faibles, de 0 à 6°, moyennement favorables à nos latitudes;

— fortes pentes, défavorables pour la construction de centrales, tant du point de vue des contraintes géométriques que du point de vue géotechnique, l'assise d'un héliostat devant être dans un plan horizontal, le terrain supportant le poids de la partie réfléchissante, de la structure métallique et des équipements de fonctionnement.

A ce stade de l'analyse, il est intéressant d'amorcer les différentes voies possibles d'un aménagement harmonieux : pour cela nous avons divisé la classe des pentes favorables à l'aménagement en centrales en deux sous-classes, séparées par une limite à 9°, correspondant à la pente maximum pour l'agriculture mécanisée. Autrement dit, l'intersection des ensembles de pentes favorables soit à l'agriculture, soit aux centrales HTE correspond à l'intervalle 6-9° et dans celui-ci l'alternative élevage-centrale HTE (pour autant qu'on soit en orientation Sud) est ouverte. Au-delà de 9° et jusqu'à 18°, la centrale HTE est seule à être dans de bonnes conditions d'exploitation.

2.4. *La carte des durées d'ensoleillement et la carte des séquences* (Atlas, Planche 12). Le procédé d'héliorestitution décrit par Cl. ARLES permet de

reconstituer à 3 dates-types de l'année (équinoxe, solstices d'hiver et d'été), la durée d'éclairement potentiel de chaque facette du relief, compte-tenu du problème des masques, mais en envisageant un éclairement continu du lever au coucher du soleil.

La carte du solstice d'hiver, représente le cas le plus défavorable, puisque c'est le jour de l'année où le soleil est le plus bas sur l'horizon : c'est donc le jour où les reliefs se masquent le plus les uns des autres. Peu de facettes sont alors continuellement éclairées, du lever au coucher du soleil. Par contre, bon nombre d'entre elles n'ont qu'une heure d'ombre, ou 2 heures.

L'originalité de la soulane de Font-Romeu - Mont-Louis ressort à l'évidence de l'analyse de la carte des durées et cela continue de souligner l'originalité de la sous-région n° 4.

En ce qui concerne les sous-régions n° 2 (Donezan) et n° 5 (Est de la Cerdagne), la répartition de la durée d'ensoleillement leur conserve leur homogénéité propre. Par contre, la sous-région n° 1 et surtout la n° 3, peuvent être considérées comme des réunions d'ensembles aux caractéristiques hétérogènes. La région plane du Capcir et le versant Ouest du Madrès sont deux sous-ensembles bien individualisés sur la carte par deux nuances différentes de gris. La sous-région n° 3 (Massifs du Carlit et de Camp Cardos) laisse apparaître à la lumière du soleil du solstice d'hiver sa complexité : les taches sombres des versants Nord limitent une zone Nord-Est (au Nord de la ligne Q 4, L 12) où seules quelques facettes en haute altitude, bien exposées, reçoivent plus de 6 heures de soleil le jour du solstice d'hiver. Le reste des facettes de la sous-zone n° 3 comporte plusieurs facettes Sud autant éclairées que la soulane de Font-Romeu - Mont Louis (facettes Q 10 Q 9, O 10, R 10, etc...).

La carte des séquences d'ensoleillement journalier théorique apporte, quant à elle, d'intéressants renseignements dont le « décodage » est simplifié par la représentation en couleurs. Les informations sur la période de la journée ensoleillée sur une facette considérée prennent toute leur valeur pour l'installation de modules HTE fonctionnant successivement,

comme par exemple en R 11, R 10, où les modules 1, 2 et 3 peuvent se mettre en route de 3 en 3 heures fonctionnant, tour à tour, à leur rendement maximum

On peut aussi faire face, grâce à l'analyse de ces cartes, à des phénomènes tels que ceux des brouillards matinaux. On choisira alors des facettes à séquence midi + (soir + midi).

2.5. La carte bioclimatique (Atlas, Planche 22). Elle a été réalisée à partir de la Carte de la Végétation de la France au 1/200 000 (feuilles n° 77 Foix et 78 Perpignan). Les conditions de milieu sont révélées d'une façon très souple par la végétation spontanée. Le phytogéographe reconnaît un certain nombre de successions de groupements végétaux ou « séries de végétation », liées chacune à un milieu déterminé. Chaque série est généralement désignée par l'essence forestière caractéristique du paysage naturel qui s'installerait en tout lieu si l'homme n'intervenait pas. En montagne les séries s'ordonnent en étages en fonction de l'altitude.

La connaissance de l'écologie *solaire* (sciaphylie ou héliophylie) des différentes séries de végétation permet de les classer en trois types de bioclimats solaires : un type favorable (luminosité, limpidité de l'air et hygrométrie relative faible), un type intermédiaire et un type défavorable (nébulosité fréquente, forte humidité relative, situation en ombre). Le tableau ci-après (REY, ROCA, P.I.R.D.E.S. 1976) résume ces tendances :

En ce qui concerne, plus spécifiquement, la zone Donezan-Capcir-Cerdagne, on a regroupé les différentes séries en trois classes :

— Bioclimat favorable : Chêne Pubescent, Pin Sylvestre

— Bioclimat intermédiaire : Pin à crochets

— Bioclimat défavorable : Hêtre, Sapin, étage alpin.

Il semblerait donc que la carte bioclimatique intègre à la fois l'ensoleillement et les conditions mésoclimatiques d'altitude, de nébulosité et de réserve en eau du sol. Ceci nous semble important pour la corré-

lation de la phytogéographie avec les conditions générales de l'insolation.

2.6. La carte d'utilisation du sol et de la valeur paysagère (Atlas planche 23). Le concept de quasi-inviolabilité de certaines surfaces nous a conduit à cartographier en zone non sujette à installation de centrales les sites des villes et villages, et les champs cultivés. Les forêts nous ont semblé faire partie d'un capital à préserver. Les espaces incultes et les « parcours » nous sont apparus comme le lieu possible pour des installations solaires

Types de végétation (Étages et séries)	Bioclimat Solaire		
	favorable	peu favorable	défavorable
Méditerranéen :			
Oléo-Lentisque		x	
Pin Pignon		x	
Chêne liège	.	x	
Pin d'Alep	.	x	
Chêne vert	x		
Subméditerranéen :			
Chêne pubescent	x		
Pin de Salzmann	x		
Pin mésogéen	.	x	
Collinéen :			
Chêne Rouvre			
Charme		.	x
Châtaignier		.	x
Atlantique :			
Chêne pédonculé, tauzin			x
Pin maritime		.	x
Montagnard :			
Pin sylvestre	x		
Pin Laricio de Corse		x	
Hêtre, Sapin, Epicéa			x
Subalpin :			
Mélèze, Pin à crochets	x		
Pin Cembro		x	.
Aune vert			x
Alpin :			x

Nous avons tenté, pour mémoire, un essai de cartographie de la valeur paysagère, en signalant, dans cette région de tourisme, les points de vue, les itinéraires pittoresques, mais c'est, en fait, à travers une échelle de compatibilités-incompatibilités

d'aménagement de l'espace que nous pourrions dresser une véritable carte de l'utilisation du sol.

3. LA SYNTHÈSE CARTOGRAPHIQUE (Atlas planche 24).

Elle se fait par superposition des différentes cartes thématiques après discussion du zonage introduit ou réajusté par chaque « thème ». Le caractère défavorable vis-à-vis d'un seul facteur entraîne l'exclusion de la surface concernée; par contre, le caractère intermédiaire vis-à-vis d'un ou de plusieurs facteurs entraîne la superposition d'une ou de plusieurs trames. Les sites correspondant à la réunion exclusive de toutes les conditions exigées pour l'installation d'une centrale HTE apparaissent finalement en blanc.

Il apparaît alors que cette méthode d'analyse et de synthèse des différents critères de choix constitue un outil efficace, capable d'intégrer cartographiquement des valeurs dont la prise en compte par simple addition des points serait inopérante.

II. — LA COLLECTE DÉCENTRALISÉE D'ÉNERGIE SOLAIRE

1. DÉFINITION ET CHAMP D'APPLICATION.

La collecte décentralisée d'énergie solaire peut être utile et rentable pour des unités de consommation réduite, surtout si ces unités sont éloignées des lignes de transport du courant électrique. En zone de montagne, on se trouve dans ce cas dès qu'on s'éloigne quelque peu des grandes vallées par où transite l'énergie (que ce soit sous sa forme « fuel » sur les routes, ou sous la forme de lignes à haute tension). La carte de base est à cet égard significative.

La collecte décentralisée peut utiliser plusieurs voies :

* *La conversion photovoltaïque* : les photopiles solaires disposées sur des capteurs plans permettent la conversion directe de l'énergie solaire en électricité.

* *L'effet de serre* est utilisé dans différents systèmes, variations autour d'un même thème : le chauffage solaire. Il s'agit de faire circuler un fluide (dans un circuit scellé) entre une source chaude (constituée par un caisson vitré exposé au soleil) et une source froide (réservoir d'eau) dont la température s'élève progressivement au fur et à mesure que le fluide circule dans le circuit. On a alors production d'eau chaude.

* *La climatisation solaire des maisons individuelles* : c'est le procédé F. TROMBE bien connu et notamment mis en application depuis plusieurs années à Odeillo (Procédé à effet de serre mais utilisant des capteurs solaires à air et des murs accumulateurs).

2. LA COLLECTE DÉCENTRALISÉE DANS LA RÉGION DONEYAN-CAPCIR-CERDAGNE.

Les cartes de seuils d'énergie solaire potentielle 500 W/m², 700 W/m² et 900 W/m² (Atlas, Planche 16 C. ARLES) répondent parfaitement à la question d'implantation dans une région de montagne d'unités de collecte décentralisée. En effet, à partir des besoins en énergie estimés on peut calculer aux trois périodes de référence de l'année (Solstice d'hiver, Equinoxe, Solstice d'été) la dimension suffisante des capteurs à mettre en place (suivant le système choisi). On peut aussi implanter rationnellement les équipements en fonction du nombre d'heures et de la période d'utilisation, sans avoir à sous-utiliser des systèmes de stockage de l'énergie qui sont, dans l'état actuel des technologies, le poste le moins amorti de l'investissement initial pour un matériel fonctionnant à l'énergie solaire.

Il est intéressant de remarquer que la carte des seuils d'énergie n'infirmait pas la modélisation de l'espace à laquelle l'analyse pour l'aménagement des centrales HTE avait conduit.

CONCLUSION

On peut donc conclure, à l'issue de cette étude, à la possibilité d'exploiter rentablement l'énergie solaire, que ce soit sous sa forme exploitation héliothermo-électrique en Cerdagne mais aussi en quelques sites du Capcir, et de la vallée de l'Aude, ou bien par la collecte décentralisée dans les zones citées ci-dessus, auxquelles on ajoutera les soulans d'altitude.

Une deuxième conclusion s'impose comme une conséquence de l'étude de la répartition de l'énergie solaire : il s'agit du zonage en 5 sous-régions bien

caractérisées, zonage qui peut servir de base à un aménagement harmonieux.

BIBLIOGRAPHIE

- PERRIN DE BRICHAMBAUT (Ch.), 1968. — Le rayonnement solaire au sol et ses mesures. *Cahier AFEDES*, n° 1.
- REY (P.) et ROCA (P.J.), 1975. — Introduction au recensement de sites possibles de centrales électro-solaires en France. SCV/CNRS.
- X Colloque THEM, CNRS-EDF, 1976, 6-8 octobre, Gif-sur-Yvette.

DEUXIÈME PARTIE

LES FACTEURS DE SENSIBILITÉ A L'AMÉNAGEMENT

« Ce qui embellit le désert, dit le petit prince, c'est qu'il cache un puits quelque part... ».

A. DE SAINT-EXUPÉRY, 1940.

Aménager, c'est exploiter une *possibilité*.

Oui, sans doute, mais dans quelles limites ?

Les deux systèmes d'essence contradictoire exploitant la montagne, et les modèles dynécologiques qui les reflètent, montrent combien est fragile et constamment compromis l'équilibre d'interface qui règle leur antagonisme.

Inculture et substitution portent en elles les traces d'une sensibilité — ancienne, actuelle ou potentielle —, aux diverses formes de mise en valeur qui se partagent l'espace montagnard, s'y sont succédées ou s'y profilent à court terme.

Vis-à-vis de chacune de ces options concrètes,

l'excès, comme le défaut, sont générateurs de déséquilibre : alors, pourraient être compromises les chances d'une rénovation, chaque fois qu'une forme d'exploitation, — si brillantes soient ses perspectives —, outrepasserait la possibilité.

Un réseau d'*indicateurs de sensibilité* devrait ainsi permettre de saisir, et doser, à la fois la fragilité du milieu face à l'initiative humaine, et son aptitude à accueillir telle ou telle forme ou force d'intervention. Il ne saurait être question ici d'en dresser la liste exhaustive, mais seulement d'extraire, au niveau du Terrain, de la Vie, et de l'Eau quelques signatures sensibles d'une dynamique à sauvegarder.

POSSIBILITÉS D'INTERVENTION GÉOLOGIQUE EN AMÉNAGEMENT

par B. DONVILLE et Y. GOURINARD

Laboratoire de Géologie et Géochronologie de l'Université Paul Sabatier
Toulouse III, 31077 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

Nous rappelons les domaines principaux d'intervention d'un géologue dans les problèmes d'aménagement (contraintes potentielles, contraintes géo-techniques, protection). Dans le cas plus particulier d'un aménagement de montagne c'est la vulnérabilité des versants qui en constitue le facteur dominant. Sur la région Donezan-Capcir-Cerdagne nous avons établi une esquisse de ce paramètre en fonction de la lithologie et de la répartition des pentes

Les possibilités d'intervention d'un géologue dans l'appréciation des facteurs de sensibilité liés au substrat peut se faire à trois niveaux :

- Evaluation des ressources souterraines (contraintes potentielles)
- Détermination des conditions d'aménagement (contraintes géotechniques)
- Limitation des agressions de l'aménagement (protection).

CONTRAINTES POTENTIELLES.

Outre les ressources énergétiques de surface (eau, vent, soleil...), tout aménagement doit tenir compte des ressources souterraines. Celles-ci peuvent être classées en trois catégories : minerais, substances utiles, eaux souterraines. Bien évidemment suivant l'axe prioritaire choisi tel ou tel de ces facteurs

SUMMARY

We mention the principal areas of intervention for a geologist when dealing with the problems of land use (planning). In the more particular case of the management of a mountain region it is the vulnerability of the slopes which constitutes the dominant factor. In the region of "Donezan-Capcir-Cerdagne" we drew up a plan showing this factor with particular reference to lithology and exposition.

deviendra prépondérant. Dans le cas particulier d'aménagement des zones montagneuses en structures touristiques par exemple, il faudra plus particulièrement retenir les inventaires en substances utiles (graviers, sables, pierres de construction...) et en eaux souterraines.

CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES.

Elles résultent principalement de la composition de trois facteurs : relief, lithologie, eau d'imbibition.

Relief. C'est en premier lieu la répartition altitudinale qui limitera certaines implantations en région montagneuse. Sur la région Donezan-Capcir-Cerdagne nous avons étudié cette répartition par pesées des cartons altimétriques découpés pour la confection des modèles morphologiques (1). La représentation graphique de cette répartition fait apparaître trois classes de fréquence supérieure à 10 % :

— inférieure à 1 300 m (Bassin de Cerdagne, cuvette du Capcir, Donezan)

— entre 2 100 m et 2 200 m (Plateau d'érosion glaciaire des Soucarades)

— supérieure à 2 400 m (ensemble des sommets).

L'influence du relief est ensuite fortement conditionnée par la répartition des pentes dont l'association avec la lithologie conditionne les mouvements de versants.

Dans la région étudiée la répartition statistique des pentes est assez exceptionnelle pour une zone montagneuse. On remarque d'abord une proportion tout à fait inhabituelle des pentes très faibles (< 4 %) qui correspond surtout au vaste développement de plaines fluviales largement étalées sur des remplissages sédimentaires récents (dont on reparlera ci-dessous à propos de la géologie). Il faut aussi signaler parmi ces zones très plates des fonds de vallées (Carol) ou d'auges glaciaires et de très hautes surfaces applanies par de véritables « glaciers de plateau » würmiens (« Désert du Carlit »).

On remarque ensuite que l'existence des très fortes pentes habituellement caractéristiques de la haute montagne est ici fortement liée à un enfoncement des vallées fluviales, enfoncement généralement si linéaire qu'il laisse subsister des panneaux d'une ancienne topographie très mûre et donc à faible pente. Il existe aussi cependant quelques très fortes pentes dues à des phénomènes glaciaires (bordures d'auges et de cirques) et à des phénomènes tectoniques (miroirs de faille; rejeux au Miocène supérieur de failles hercyniennes).

Entre ces deux extrêmes (pentes très faibles ou très fortes), le reste du paysage est constitué des formes très molles et arrondies correspondant au résidu de la surface très mûre déjà évoquée. Cette surface est postérieure aux plissements pyrénéens proprement dit (en dehors de la région étudiée elle recoupe de tels plis, dans la vallée de l'Agly notamment). Elle a été arquée et fracturée au Néogène et sa déformation souple se poursuit pendant le Pléistocène.

Cette répartition naturelle des pentes a conduit à distinguer ici trois ensembles : les pentes inférieures

à 4 %, celles comprises entre 4 et 20 % et celles qui sont supérieures à cette valeur (et qui sont alors, nous venons de le voir, presque toujours très fortes).

Ce classement est d'autant plus justifié que l'observation montre qu'il rend aussi compte des vulnérabilités des divers types de versants. En effet la classe la plus basse groupe naturellement les terrains qui ne sont pas disposés en versants et qui par conséquent échappent aux risques considérés. D'autre part la coupure à 20 % correspond en fait à une coupure entre versants peu inclinés (< 20 %) et versants presque verticaux. Or, nous allons voir ci-dessous que les types lithologiques de la région sont tels que leur comportement en tant que versant n'admet que deux possibilités : en versant très abrupt ils sont sujets à l'éboulement, dans tous les autres cas ils sont très stables sauf les sédiments argileux miocènes et les moraines qui sont affectées de glissements typiques avec formation de loupes d'accumulation très caractéristiques dans le paysage.

Lithologie. L'influence de la nature et de la structure des différents terrains du sous-sol jouera un rôle important au niveau de l'implantation humaine (urbanisme, ouvrages...). Ce sont surtout des paramètres tels que cohésion, dureté, homogénéité... dont il faudra tenir compte pour le choix des différentes catégories lithologiques.

Ce choix dépend évidemment de la géologie régionale et nous commencerons donc par rappeler très brièvement celle-ci (2).

La région étudiée est une portion de la haute chaîne pyrénéenne (dite parfois « zone axiale »), portion accidentée de deux dépressions : le Capcir et la Cerdagne.

Le Capcir correspond à une forme d'érosion due à la capture par la haute vallée de l'Aude de plusieurs anciens affluents de la rive gauche de la Têt (R. des Escougots, R. de Galbe, R. de Lladure, cours supérieur de l'Aude elle-même). Ce fond de vallée élargi montre partout des affleurements cristallins ou paléozoïques apparaissant çà et là sous des glaciers quaternaires et des moraines würmiennes. Il n'y a pas de sédiments néogènes dans cette zone qui n'est donc en rien comparable au bassin

néogène de Cerdagne. La bordure orientale du Capcir n'est pas une limite faillée (un lever cartographique précis du Paléozoïque le démontre facilement) (3).

La Cerdagne au contraire est bordée au S par une faille très importante de sorte que le remplissage sédimentaire miocène supérieur (Vallésien à Hipparions) qu'elle contient, butte vers le S contre le Paléozoïque (demi-graben). Sur la bordure N au contraire le Miocène repose sur le Paléozoïque avec un contact plongeant légèrement vers le S mais par endroit de petites failles d'orientation très diverses peuvent compliquer ce contact. D'importantes formations quaternaires (terrasses alluviales et moraines) recouvrent largement les terrains néogènes et par endroit le Paléozoïque (4).

Compte-tenu de ces éléments géologiques, on devra donc reconnaître les éléments lithologiques suivants :

- a) granites et gneiss de la « zone axiale »,
- b) schistes plus ou moins métamorphiques (micaschistes, séries de Canavellas et de Jujols) de la même zone,
- c) calcaires paléozoïques (généralement dévonien) de la même zone,
- d) sédiments de remplissage des bassins néogènes : dominante argileuse avec développement de cailloutis sur les bordures avec quelques niveaux ligniteux intercalés dans les argiles. Sur la carte on a utilisé le mot Néogène entre guillemets comme abréviation de l'expression « sédiments de remplissage des bassins néogènes »,
- e) moraines les plus souvent würmiennes (seule la vallée du Carol présente des moraines plus anciennes certaines : elles sont beaucoup plus altérées,
- f) alluvions ; généralement plutôt argileuses, ces alluvions ne constituent pas des aquifères importants.

Eau. La présence ou l'absence d'eau au niveau textural d'une formation est un facteur important à connaître car il conditionne de nombreuses qualités géotechniques des matériaux superficiels. Ces paramètres de drainage naturel (collecte et évacuation naturelle de l'eau d'un sol) et de drainabilité (aptitude d'un terrain à se laisser drainer) ne peu-

vent être définis qu'à grande échelle (1 : 5 000 à 1 : 10 000). Aussi n'avons nous pas abordé la répartition de ces paramètres au stade de cette étude pluridisciplinaire.

PROTECTION.

Au niveau géologique on peut classer les agressions de l'aménagement sur le milieu en trois rubriques principales : pollution, érosion, alluvionnement. Chacune de ces agressions peut résulter plus spécifiquement d'un mode d'aménagement particulier. Ainsi en zone de montagne les risques d'alluvionnement sont réduits en dehors des cas de lessivage de déblais miniers. Par contre, un aménagement touristique amènera des pollutions importantes surtout sensibles au niveau des eaux tant de surface que souterraines. L'accumulation des déchets qu'il occasionne matérialise aisément cette facette la mieux connue de l'agression sur le milieu. Mais il en existe d'autres, comme par exemple ses effets sur l'érosion. Ainsi la création d'une voirie de lotissement sur fortes pentes peu cohérentes ne pourra qu'accélérer ce phénomène ! Ce stade de l'intervention géologique doit suivre les différentes étapes de l'aménagement et ne pouvant se trouver qu'à l'aval des projets d'études n'a pas été abordé en Donezan-Capcir-Cerdagne.

ESQUISSE CARTOGRAPHIQUE.

Ainsi l'aménagement d'une région montagneuse pose surtout dès le départ le problème de la stabilité des versants. Dans la région Donezan-Capcir-Cerdagne nous avons abordé cartographiquement l'insertion des résultats géologiques à la dynamique d'un aménagement régional en établissant une esquisse de la vulnérabilité des versants.

Dans la région étudiée le comportement des versants (vis-à-vis des facteurs d'agression appelés ci-dessus) dépend, d'une part, des valeurs de pente, et d'autre part, de caractéristiques du sous-sol telles

que la cohésion, la perméabilité, l'homogénéité aux diverses échelles ... etc ... Mais, pratiquement toutes ces caractéristiques sont liées à la lithologie et par conséquent, en définitive, à la formation géologique affleurant sur la pente considérée.

Une première esquisse cartographique de la vulnérabilité des versants peut donc être obtenue par la superposition d'un figuré de pente à une carte lithologique, elle-même dérivée de la carte géologique. L'observation locale et l'expérience acquise ailleurs doivent être utilisées pour choisir les classes de pentes et les types lithologiques à représenter, de sorte que cette esquisse permette un découpage du territoire en zone d'égale vulnérabilité aux divers facteurs d'agression reconnus (Atlas, planche 17).

Dans l'état actuel de nos connaissances, cette esquisse peut être transformée en une carte d'égale valeurs de vulnérabilité des versants en appliquant les remarques suivantes :

1. Toutes les zones de pente inférieure à 4 % sont à exclure des zones de risque.

2. Pour les zones de pente comprise entre 4 et 20 % les versants constitués de « Néogène » et de moraines présentent des dangers réels. Il s'y forme en effet très facilement des glissements en masse pour peu qu'on les surcharge ou que leur drainage soit contrarié. Les argiles miocènes sont même très généralement affectées de glissements spontanés. C'est pour bien signaler ces risques que le figuré de pente correspondant a été fortement assombri, particulièrement pour le « Néogène ».

3. Pour les fortes valeurs de pente les risques se ramènent à des risques d'éboulement. Les calcaires et les granites sont particulièrement exposés dans les régions mylonitisées, c'est pourquoi on a dessiné

sur l'esquisse les principales failles. Naturellement chaque problème de choix de site exige à cet égard une étude particulière à très grande échelle.

Il existe aussi des risques d'éboulement de blocs morainiques; ce sont encore des problèmes à traiter localement

CONCLUSION

L'intervention d'un géologue dans un aménagement de montagne doit être insérée dans une étude pluridisciplinaire au cours de l'évolution de cette étude. Dès le départ il participe à l'inventaire systématique de la région tant au niveau ressources qu'au niveau caractérisation géotechnique du substrat. Mais surtout il doit suivre de très près les projets d'aménagement de façon à limiter les agressions qui pourraient en résulter.

BIBLIOGRAPHIE

- ARLES (Cl.), 1977. — Méthode analogique de cartographie de l'ensoleillement théorique journalier. *Bull. Ecol.*, 8, 3, étude n° 5.
- AUTRAN (A.), GUITARD (G.), RAGUIN (E.), 1963. — Carte géologique de la partie orientale des Pyrénées hercyniennes. 1 : 200 000 B.R.G.M.
- GOURINARD (Y.), 1975. — Détermination cartographique et géophysique de la position des failles bordières du fossé néogène de Cerdagne.
- GOURINARD (Y.), 1971. — Les moraines de la basse vallée du Carol entre Latour et Puigcerda. *C. R. Acad. sci. Paris*, 272, 3112-3115.

ÉTUDE DES FACTEURS DU BILAN DE L'EAU EN BASSINS « NON ORGANISÉS »

par B. DONVILLE

*Laboratoire de Géologie et Géochronologie de l'Université Paul Sabatier
Toulouse III, 31077 Toulouse Cedex*

RÉSUMÉ

Nous avons cherché à mettre en évidence les possibilités d'évaluation du potentiel hydraulique d'une zone d'altitude à partir des données recueillies dans d'autres buts.

Nous avons tout d'abord montré que les possibilités hydrogéologiques de la zone d'étude étaient très faibles. Après en avoir défini les paramètres géomorphologiques et climatiques nous avons analysé les conditions de ruissellement dans quatre bassins versants et mis en évidence leurs relations avec l'évolution du stock neigeux. Les essais de bilans qui en ont résulté ont montré l'insuffisance et la mauvaise adaptation technologique des données mises en œuvre.

L'étude de l'aménagement d'une zone de montagne telle celle du Donezan — Capcir — Cerdagne ne peut pas ignorer l'importance de ses possibilités hydrauliques. Encore faut-il avoir les moyens de les évaluer.

Le but de cette étude est justement de déterminer les limites de cette évaluation lorsqu'on ne dispose que de relevés routiniers sur la zone d'étude, relevés réalisés en permanence par divers services à motivations différentes (bassins « non organisés »).

SUMMARY

We have attempted to make clear the possibilities of evaluating the hydraulic potential of a zone of altitude from the data collected during other objectives.

From the beginning we have shown that the hydro-geologic possibilities of the zone of study were very slight. After having defined the geomorphologic and climatic parameters, we have analysed the stream forming conditions in four watershed basins and made clear their relations with those associated with melting snow. The trial balance sheets which have resulted from this have shown the inefficiency and bad technological adaptation of the data employed.

En particulier, il sera intéressant d'en déduire ce qui peut dans une telle zone d'altitude manquer pour l'évaluation correcte des bilans de l'eau. Précisons de plus que nous n'avons voulu aborder que le côté quantitatif du problème de l'eau, les données en ce qui concerne son évolution qualitative étant pratiquement inexistantes. Notre but ainsi défini explique le plan quelque peu inhabituel que nous avons suivi.

RÉPARTITION DES DIFFÉRENTS BASSINS VERSANTS

L'ensemble de la zone d'étude donne naissance à trois rivières débouchant l'une au Nord (l'Aude), l'autre à l'Est (la Têt), la troisième enfin au Sud (le Sègre). Leurs bassins versants sont très inégaux. Ainsi peut-on considérer l'ensemble comme deux grands bassins versants : celui de l'Aude et celui du Sègre, séparés par un long couloir allongé suivant la direction NW-SE qui constitue le bassin d'altitude de la Têt. Au sein de chacun de ces bassins nous avons mis en évidence des sous-bassins, cette subdivision étant parfois commandée par des raisons d'inventaire hydraulique existant (Atlas, pl. 18).

— C'est ainsi qu'au Nord de la zone d'étude nous avons délimité trois unités : Haut Bassin de l'Aude (A'), Bassin de la vallée de l'Aude (A), Bassin de la Bruyante (B). Nous avons, en particulier, placé la séparation entre les Bassins A et A' au niveau de la retenue de Puyvalador pour laquelle nous avions des données de jaugeage.

— Le cours du Têt, quant à lui, associe un bassin de haute altitude (T') au bassin aval rectiligne, à cause d'une faille qu'il jalonne, jusqu'à Mont-Louis (T).

— La zone Sud permet un fractionnement plus poussé. Le cours du Carol, à l'Ouest, traverse un bassin de haute altitude (C') artificiellement arrêté à Carol où existe une station limnigraphique, puis débouche dans le bassin aval (C). Au centre, le bassin versant de l'Angoustrine (AN) est séparé du bassin du Carol par celui, bien plus modeste, du Salit (Sa). Le reste de la Cerdagne est occupé par le haut bassin du Sègre (S) pour lequel nous n'avons pas fait de subdivisions, n'ayant pas eu d'éléments quantitatifs à y exploiter; cependant il est clair que la plaine de Cerdagne se distingue très nettement des sous-bassins versants parallèles de la rivière d'Eyne, du Sègre et de la rivière d'Err sur le flanc Nord du Puigmal.

Parmi toutes ces unités nous limiterons notre étude aux sous-bassins A' (Aude), T' (Têt), AN

(Angoustrine) et C' (Carol) pour lesquels nous disposons de valeurs mesurées.

LITHOLOGIE

L'ensemble Donezan-Capcir-Cerdagne présente peu de diversité en ce qui concerne les faciès des roches qui y affleurent et ce d'autant plus que l'on s'intéresse aux bassins de haute altitude.

Comme on peut le constater sur la carte de vulnérabilité des versants publiée par ailleurs (Atlas, planche 17, B. DONVILLE et Y. GOURINARD), ce sont surtout des roches du socle (granite, schistes cristallins) qui constituent le substratum de ces bassins.

Pour les quatre bassins d'étude, la répartition des affleurements de ces types de roches sont reportées dans le tableau 1.

TABEAU 1

% - SURFACE (km ²)	GRANITE	SCHISTES	ALLUVIONS MORAINES
A'	40 % - 93,6	40 % - 53,6	20 % - 26,8
AN	90 % - 40,5	10 % - 4,5	
C'	50 % - 52,5	50 % - 52,5	
T'	10 % - 3	90 % - 27	

Ainsi, sauf dans le cas de A', nous assistons à une répartition entre granite et schistes. C'est dire que dans ces unités la notion d'hydrogéologie souterraine revêtira une faible importance, du fait de l'imperméabilité du substratum.

HYDROGÉOLOGIE

Ainsi, dans la plupart des bassins, l'hydraulique souterraine résultera plus de perméabilité d'accident que de perméabilité généralisée.

Dans les granites, seules les zones d'arènes qui forment des placages de très faible épaisseur, risquent de constituer de mini-réservoirs à bonne perméabilité mais leur répartition aléatoire n'en permettra pas une étude globale. Il faut signaler cependant l'exis-

tence dans la masse granitique de quelques failles à forte mylonitisation qui ainsi pourront jouer le rôle de drain, dès l'instant où leur disposition spatiale pourra donner naissance à des exutoires. C'est sans doute le cas dans le sous-bassin C' du contact schiste-granite qui permet une percolation très importante (malheureusement pas encore jaugée), recueillie dans les fossés du tunnel SNCF sous le col du Puymorens et dont une partie est déviée vers l'Arègè. D'autre part, dans le sous-bassin AN les failles qui jalonnent le granite ont créé d'importantes zones broyées à leur contact et risquent de faire dévier une partie du débit de ce bassin vers la Cerdagne orientale.

Le problème est plus délicat en ce qui concerne les schistes cristallins car leurs réseaux d'altération sont très souvent liés à leurs réseaux de diaclases. Cependant, il semble qu'en dehors des zones de broyage déjà mentionnées, ils peuvent rarement permettre une certaine infiltration. Une mention particulière doit être faite des calcaires et calco-schistes qui affleurent, tant dans le sous-bassin A' que sur le flanc Nord du Donezan. En effet, du fait de fortes karstifications locales ils présentent un intérêt hydrogéologique certain. Cependant dans le bassin A', du fait des fortes fissurations mises en jeu, de leur faible surface d'affleurement et de leur disposition spatiale, ils ne peuvent jouer qu'un rôle de tampon et de trajet préférentiel pour les eaux de ce bassin.

Les formations morainiques peuvent en général être considérées comme peu perméables et leurs dépôts sous forme pelliculaire ne permet pas de leur attribuer un rôle d'aquifère. Pas plus, du reste, qu'aux alluvions (cailloutis dans une matrice argilo-limoneuse) en placage mince sur la cuvette du Capcir et qui ne peuvent présenter un intérêt hydrogéologique que lorsqu'elles fossilisent un ancien thalweg du socle. Les alluvions fluviales de Cerdagne sont, elles aussi, peu épaisses mais du fait de leur extension peuvent constituer des réserves moyennes. Rares y sont les puits qui peuvent y donner des débits intéressants. La preuve en est que l'agriculture locale compte plus sur l'ensemble des canaux d'irrigation alimentés par la retenue des Bouillouses que sur l'exploitation des eaux souterraines.

GÉOMORPHOLOGIE

CLASSEMENT DES PENTES.

Pour les quatre sous-bassins d'étude (A'-C'-AN-T') nous avons recherché la répartition entre les zones à pentes inférieures à 4 %, celles à pentes comprises entre 4 % et 20 % et celles de pentes supérieures à 20 %. Sur la figure 1, grâce au mode de représentation choisi, nous pouvons constater l'importance que va revêtir cette répartition sur le ruissellement.

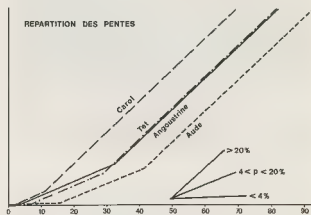


FIG. 1. — Répartition des pentes

Ainsi le bassin C' se distingue par la plus grande surface de pentes supérieures à 20 % (89 %), d'où des temps de transit de l'eau très courts. A l'inverse, le bassin A' présente pour la même classe de pente le pourcentage le plus faible (58 %) contrebalancé par le pourcentage le plus important (16 %) de pentes inférieures à 4 %.

OCCUPATION DU SOL.

Dans le tableau 2, nous avons retranscrit les résultats du recueil cartographique d'occupation végétale du sol effectuée (à notre demande) par M^{lle}

IZARD pour ce qui concerne les quatre bassins d'étude. Nous y avons associé dans chaque cas les températures moyennes de chaque zone. On peut ainsi constater que l'occupation végétale des sols semble plus conditionnée par des conditions altimétriques comme le montre la relation avec la température que par des conditions lithologiques. Il faut en outre souligner que sous le terme de pelouses nous retrouverons des surfaces de haute altitude très souvent occupées seulement par des éboulis rocheux ou le manteau neigeux.

TABLEAU 2

(T °C) % S		Pelouses D. l'urtes	Forêts	Landes	Pelouses
BASSINS	A'	(5,9) 26	(4,5) 39	(3,5) 19	(3) 14
	AN		(3,6) 6	(6) 29	(3) 63
	C'	(5,8) 4	(4,6) 8	(4,5) 42	(2) 47
	T'			(3,4) 31	(2,4) 69

CLIMATOLOGIE

RECUEIL DE DONNÉES.

Les données météorologiques intégrées sur douze ans (1960-1972) par M^{lle} IZARD et associées aux caractéristiques géographiques de nos bassins d'étude sont reportées dans le tableau 3.

TABLEAU 3

BASSINS	Précipitation moyenne (mm)	Température moyenne °C _a	Altitude moyenne (m)	Superficie (km ²)
A'	1166	4,4	1830	134
AN	1457	3,7	2108	85
C'	1453	3,4	2220	105
T'	1701	2,7	2333	30

On remarque de suite la grande similitude des paramètres des deux bassins AN et C'. Il est malheureusement très difficile de fournir des résultats plus détaillés au point de vue climatologique. En

effet, la plupart des stations de mesure qui peuvent fournir des mesures précises se trouvent à des altitudes inférieures à 1 700 m et il n'est pas certain qu'une corrélation météo-altitude soit ici linéaire. Par ailleurs, les relevés nivopluviométriques d'altitude ne fournissent que des totalisations annuelles et de plus ces résultats doivent-ils être maniés avec précaution du fait que les appareils mis en service dans cette région ne sont pas des nivopluviographes chauffants. Or, quand on sait qu'un nivopluviographe totalisateur n'est rien d'autre qu'un tube de plastique de 2,50 m de haut, disposé verticalement sur le sol, on conçoit que les turbulences créées à l'entrée du tube et les sens des chutes de la neige liés aux vents ici très puissants, peuvent rendre les résultats très inférieurs à la réalité. Cependant, pour lier l'influence climatologique à l'écoulement des eaux sur un bassin particulier (A') nous avons retenu les mesures effectuées à la station de Matemale (1 250 m) étant bien entendu que le régime climatique ainsi défini ne pouvant être qu'analogique avec ce qui se passe dans le bassin d'altitude

ÉVAPOTRANSPIRATION.

Nous avons appliqué directement certaines méthodes classiques d'évaluation de la quantité d'eau évapotranspirée à ces bassins d'altitude pour en déceler les limites. En effet, il est probable que de tels bassins où on ne trouve en haute altitude que des éboulis rocheux et dont une bonne partie peut être, près de 5 mois sur 12, recouverte d'un manteau neigeux, ne se comportent pas comme des bassins de plaine.

En outre l'influence des faibles températures limite l'infiltration pendant de longs mois de l'année et bloque ainsi la recharge du sol en eaux de rétention utilisables par les végétaux.

Du fait des rares données climatologiques dont nous disposons, nous n'avons mis en œuvre que les méthodes de TURC et de la COUTAGNE. Les résultats sont reportés dans le tableau 4.

TABLEAU 4

E (mm)	A'	AN	C'	T'
"TURC"	425	403	391	370
"COUTAGNE"	342	321	312	291

HYDROLOGIE

HYDROMÉTRIE.

Les stations de jaugeage des rivières qui drainent les quatre bassins d'étude sont rares.

— A Carol (1 357 m), existe une station limnigraphique gérée par l'EDF sur la rivière du même nom. Les résultats des relevés permanents sont corrigés journallement des débits dérivés de l'étang de Lanous vers l'Ariège et de l'Ariège vers le Carol. On a donc à notre disposition des débits naturels reconstitués correspondant au sous-bassin C'. Cette station est en fonctionnement depuis 1921, ce qui nous permet d'avoir des moyennes de référence sur plus de 40 ans.

— A Angoustrine (1 351 m), existe aussi une station limnigraphique sur la rivière, gérée par l'EDF. Les débits mesurés journallement sont des débits naturels correspondant au sous-bassin AN. Implantée depuis 1913, cette station nous permet donc de disposer, là encore, de résultats sur de longues périodes.

— L'électrification de la vallée de l'Aude dans la zone qui nous intéresse a donné naissance aux retenues de Matemale et Puyvalador. De là une conduite forcée amène l'eau à turbiner à la centrale d'Escouloubre. On connaît le débit d'exhaure du bassin A' grâce aux relevés journaliers de l'EDF qui associent les débits turbinés à Escouloubre, les variations de réserve de Matemale et Puyvalador (malheureusement non communiqués) et les débits déversés à Puyvalador. Nous disposons donc là de débits journaliers reconstitués et ce depuis 1936.

— La retenue du Lac des Bouillouses est jaugeée par la SNCF qui a la charge d'assurer, après turbinage, la réalimentation des canaux d'irrigation agricole de Cerdagne. Nous ne retiendrons pour cette station que le débit moyen annuel.

ANNÉE HYDROLOGIQUE.

La répartition mensuelle des jaugeages reportée sur la figure 2 fait apparaître l'année hydrologique. Celle-ci débuterait en général le 1^{er} juin. Au cours de cette année, les courbes en répartition semi-logarithmique présente la forme plus ou moins constante d'un W. Ceci met en évidence deux périodes d'étiage, l'une en septembre, l'autre en janvier-février. Notons que la première période est moins marquée pour le Carol que pour les autres jaugeages. A l'inverse, on trouve deux périodes de crue d'intensités très différentes : la plus importante en mai, l'autre plus variable d'un bassin à l'autre en octobre-novembre.

On peut expliquer cette forme caractéristique en W de la manière suivante : la grande crue de Mai

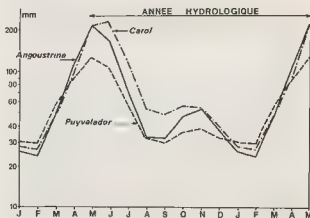


FIG. 2. — Année hydrologique

(qui du reste pour le sous-bassin C' atteint son maximum en juin) correspond à la fusion du stock neigeux alors que la crue d'octobre-novembre résulte d'une

augmentation de la pluviométrie. L'étiage des mois d'hiver tout en marquant une diminution de la pluviométrie correspond à la mise en réserve des chutes de neige. Ces constatations découlent de l'examen de la figure 3 où nous avons associé pour le sous-bassin A', les facteurs hydrométriques de Puyvalador et climatologiques de Matemale.

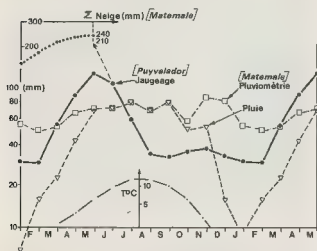


FIG. 3. — Hydrométrie et climatologie.

Il est à remarquer que les courbes climatologiques de ce schéma ne doivent être considérées que comme analogiques de ce qui se passe pour la moyenne du bassin.

L'examen plus détaillé de ce schéma fait apparaître quelques anomalies par rapport à l'évolution simpliste que nous avons décrite. En particulier alors qu'en octobre il existe une baisse marquée de la pluviométrie totale, surtout constituée alors par les pluies, le jaugeage à Puyvalador marque une nette augmentation. Ceci correspond à un ruissellement bien plus important pour une même quantité d'eau météoritique à partir d'averses d'intensité journalière très importante. Par ailleurs, la crue de novembre semble correspondre à une forte nivométrie transformée rapidement en eau de fusion du fait de l'ordre de grandeur des températures.

Le prolongement de la courbe de décrue entre juin et août permet d'évaluer au 1^{er} juin la réserve

du bassin à 210 mm. Il est curieux de constater que cette valeur est proche du stock neigeux qui se serait accumulé, fictivement sans fusion, à Matemale au cours de l'hiver et du printemps (240 mm).

RELATION PLUVIOMÉTRIE-DÉBIT. Les courbes de jaugeage cumulé, tracées en prenant pour origine le 1^{er} avril, pour ces différents bassins (fig. 4) peuvent être assimilées à des portions de droite. On trouve ainsi pour les mois d'avril-mai-juin un premier segment à forte pente, du reste tout à fait comparable pour les bassins AN et C'. Entre juillet et novembre, chaque station fournit une seconde branche rectiligne caractéristique pour chaque bassin et dont les pentes vont en croissant suivant l'ordre A'-AN-C'. Enfin, une troisième branche de ces courbes se distingue nettement pendant le reste de l'année pour les bassins AN et C', avec une pente comparable, mais est confondue avec la seconde branche pour A'.

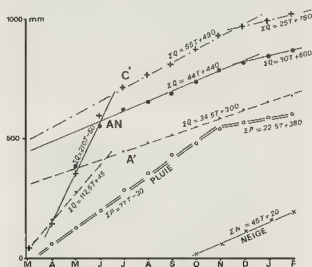


FIG. 4. — Courbes de jaugeage cumulé.

Si on reporte sur ce schéma l'évolution de la pluviométrie (pluie) totale cumulée recueillie à Matemale, à titre d'image, on constate qu'elle se présente sous forme de deux segments de droite dont le point de rebroussement correspond à novembre, soit à la fin des secondes branches des courbes de jaugeage cumulé.

Nous pouvons penser que ces courbes de jaugeage résultent de l'addition ou de la soustraction de segments de droite représentant l'évolution linéaire des facteurs de bilan.

Ainsi, entre mars et juin, des faibles températures régnant en altitude, on peut considérer que l'infiltration est pratiquement nulle. Toute la pluviométrie sous forme de pluie participe au ruissellement. S'y ajoute une certaine quantité d'eau provenant de la fusion du stock neigeux. On peut effectivement considérer que cette dernière présente une évolution linéaire au cours du temps puisqu'elle est conditionnée par la température dont la loi d'évolution, pendant cet intervalle, suit une loi similaire (fig. 3).

ESSAI DE BILAN

Nous disposons comme point de départ à une telle étude des déficits d'écoulement (pluviométrie annuelle du bassin — jaugeage annuel) des quatre sous-bassins A', AN, C' et T'.

On peut pour réaliser un essai de bilan de chacun de ces bassins supposer soit que du fait de la lithologie du substratum il n'y a pas d'infiltration (le déficit d'écoulement est assimilable à l'évapotranspiration), soit admettre des possibilités de pertes vers des bassins voisins, par le sous-sol, en utilisant les valeurs théoriques de l'évapotranspiration, soit enfin moduler ces deux facteurs.

CAS DE SUBSTRATUM IMPERMÉABLE. Dans le tableau 5 nous avons reporté les déficits d'écoulement Δ et leur comparaison avec les quantités évapotranspirées déterminées par les méthodes de TURC et de COUTAGNE.

TABLEAU 5

	A'	AN	C'	T'
Δ mm	493	581	443	367
$\Delta - E$ (TURC)	68	178	52	17
$\Delta - E$ (COUTAGNE)	151	260	131	66

On trouve donc de forts écarts surtout à partir de l'évapotranspiration calculée par la méthode de COUTAGNE. Si on admet que les données tant pluviométriques qu'hydrométriques ne sont pas à mettre en cause, on constate qu'il devient nécessaire de moduler l'évapotranspiration de chaque bassin. C'est ce que nous avons tenté de faire en fonction de la répartition de leur recouvrement végétal.

Ainsi à partir de la formule de COUTAGNE, nous écrivons :

$E = E_x (210 + 30 T_x)$ où E_x est un coefficient correcteur spécifique de chaque type d'occupation du sol et T_x la température moyenne annuelle correspondante.

E_c, T_c : cultures — E_f, T_f : forêts;

E_l, T_l : landes — E_p, T_p : pelouses.

On obtient alors les équations suivantes :

Bassin A' :

$$493 = 108,4 E_c + 134,6 E_f + 59,8 E_l + 42 E_p$$

Bassin AN :

$$581 = 26 E_c + 104,4 E_l + 293,4 E_p$$

Bassin C' :

$$443 = 15,4 E_c + 27,6 E_f + 144,9 E_l + 126,9 E_p$$

Bassin T' :

$$367 = 96 E_l + 195 E_p$$

Ce qui permet d'obtenir les coefficients correctifs suivants :

$$E_c = 0,58; E_f = 2,58; E_l = 1,43; E_p = 1,28.$$

On est alors très étonné de constater la part prépondérante prise par l'évapotranspiration des zones forestières et la forte valeur de l'évapotranspiration des pelouses, ne serait-ce que par rapport aux cultures et prairies.

CAS DE L'INFILTRATION. Si on admet que le calcul de l'évapotranspiration par exemple par la méthode de TURC est valable il faut alors moduler l'infiltration souterraine dans chaque bassin pour justifier les différences existantes. Ainsi si on appelle I_g, I_s et I_a les infiltrations spécifiques au granite, aux schistes et aux alluvions, nous pourrions écrire :

$$\text{Bassin A'} : \quad 68 = 0,4 I_g + 0,4 I_s + 0,2 I_a$$

Bassin AN : $178 = 0,9 I_p + 0,1 I_r$

Bassin C' : $52 = 0,5 I_p + 0,5 I_r$

Bassin T' : $17 = 0,1 I_p + 0,9 I_r$

La combinaison de ces quatre équations nous permet d'évaluer les coefficients d'infiltration spécifique de la manière suivante :

$I_p = 100 \pm 200 \text{ mm}$; $I_r = 0 \pm 10 \text{ mm}$; $I_e = 100 \text{ mm}$

Il est bien évident que la valeur trouvée pour I_e est bien trop élevée surtout que, rappelons-le, elle correspondrait à la perte du bassin versant A' au niveau de Puyvalador en dehors de la rivière et de la conduite forcée !

CAS MIXTE. On peut, peut être, aborder plus justement le problème en mêlant ces deux intégrations.

Ainsi, au lieu de considérer une infiltration moyenne caractéristique d'une lithologie, vaut-il mieux faire intervenir des pertes par perméabilités accidentelles. Or, seuls les sous-bassins AN et C' peuvent présenter de tels cas; comme nous l'avons souligné dans le paragraphe « hydrogéologie ».

Si on admet, pour ces deux bassins, des possibilités d'infiltration potentielle comparables, il faut que le taux d'infiltration du sous-bassin AN y soit supérieur. Ceci n'est pas en contradiction, bien au contraire, avec la répartition des pentes de chacun des bassins qui montre que le ruissellement doit être plus intense dans le sous-bassin C' (fig. 1).

Par contre, les deux autres sous-bassins ne doivent pas présenter de phénomènes semblables. Il faut alors trouver une autre explication pour le déficit constaté. C'est sans doute dans l'évaluation de l'évapotranspiration qu'il faut chercher la cause de l'anomalie de bilan en y intégrant la part de neige sublimée qui devrait pouvoir atteindre des valeurs de l'ordre de 10 % du manteau neigeux.

CONCLUSION

L'intérêt d'une telle étude est bien évidemment limité du fait qu'elle n'a pu se concentrer que dans

des zones d'altitude où nous pouvions disposer de quelques données expérimentales. De plus, comme nous avons pu le montrer, ces données éparpillées n'étaient pas suffisamment étagées pour atteindre l'évaluation de toutes les caractéristiques du bilan de l'eau de chaque bassin. Et pourtant il manquerait bien peu de choses pour cerner de plus près les bilans d'eau de ces bassins de haute altitude :

- Jaugeage des pertes par percolation sous le tunnel SNCF du Puymorens.

- Relation entre la courbe de débit à Angoustrine et celle du ruisseau de Ribats au-dessus de Targassonne, pour évaluer les communications créées par les zones de mylonite.

- Evolution spatiale du stock neigeux d'altitude, ne serait-ce qu'à partir d'images du satellite Landsat 2 (nous ne disposons à ce jour que de quatre passages où sont mêlés neige et nuages !).

- Evolution de l'épaisseur du stock neigeux en créant, par exemple, une coordination entre les relevés de hauteur de neige des stations de sports d'hiver.

- Evaluation du coefficient de sublimation de la neige pour ces différents bassins

- Installation en un point représentatif de chaque bassin d'un nivopluviographe scientifiquement bien adapté...

Partant de là nous aurions ainsi la possibilité, connaissant parfaitement les conditions d'alimentation des bassins aval, d'aborder la prospective d'aménagement cohérent, et dans la zone Donezan-Capcir-Cerdagne, voir comment les possibilités hydrauliques des bassins de haute altitude peuvent satisfaire ou limiter l'implantation humaine, en particulier en Cerdagne. Dans une région qui semble bien adaptée au développement de l'utilisation de l'énergie solaire, énergie consommatrice d'eau, c'est un problème primordial, tout autant que le problème touristique qui crée des besoins supplémentaires justement en période d'étiage des rivières de montagne.

Le but que nous nous étions fixé était de répondre à la question : « Dans une région donnée d'altitude, les mesures habituellement recueillies dans le domaine de l'eau, sont-elles suffisantes pour évaluer un aménagement cohérent de la région ? ». A partir

de ce qui existe de la zone Cerdagne-Capcir-Donezan, qui présente des caractères assez diversifiés pour être considérée comme un site test représentatif, nous sommes amenés à répondre non. Cependant, le constat ne doit pas être sèchement négatif car l'étude que nous avons menée montre que ces données systématiques permettent de dégrossir fortement le problème et, par conséquent, d'optimiser l'effort de coordination et d'analyse qui reste à faire.

REMERCIEMENTS

Nous remercions, en particulier, Messieurs SCHERRER et BACCLE du Service d'Equipement de l'E.D.F. qui nous ont facilité l'accès aux résultats des jaugeages cités dans cette note

RECENSEMENT DES SECTEURS D'INSTABILITÉ GÉOMORPHOLOGIQUE ET DE LEURS DÉTERMINANTS

par H. DREZET

Service de la Carte de la Végétation, C.N.R.S.
29, rue Jeanne-Marvig, 31055 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

Les modifications géomorphologiques d'un secteur peuvent être enregistrées et mesurées dans le temps par la méthode d'exploitation photogramétrique de prises de vues stéréoscopiques périodiques.

L'opération considérée consiste à rechercher le degré et la vitesse d'altération et de dégradation de sites en cours d'abandon, naturels ou modifiés par l'Homme, qui, dans leur position de pseudoéquilibre, se trouvent soumis à divers processus d'érosion.

Les secteurs abordés offrent une grande variété quant à la nature et la composition du sol et de la roche, ainsi qu'aux conditions climatiques (exposition Sud ou Nord), liées à leur tour aux conditions d'altitude.

Il pourra s'agir :

— soit de sites naturels dont l'évolution est liée à la pente : terres en friche, pelouses sur sols marneux ou argileux plus ou moins aquifères.

— soit de talus routiers que surplombe une couverture végétale instable, ou encore de falaises, de parois rocheuses limitant une ancienne exploitation en carrière etc.

SUMMARY

The geomorphological modifications, over a period of time, of a particular area can be recorded and measured by the photogrammetrical use of periodic stereoscopic photographs.

Quant aux déterminants de l'instabilité et des mouvements, il y a lieu de citer :

— le ruissellement de surface entraînant l'usure et la dégradation plus ou moins profonde du sol, éventuellement accompagnée d'éboulements, de transport et d'accumulation de matériaux, lorsque la pente est plus accusée;

— la forte humidification du sol qui, conjuguée à l'action du gel et du dégel, détermine des phénomènes de solifluxion ou de glissement massif de terrain;

— la désagrégation mécanique et chimique par pénétration, dans les fissures rocheuses, de solutions acides ou de racines qui s'y développent (cas fréquent dans les roches compactes);

— l'action des torrents et des coulées de neige;

— le piétinement abusif conduisant à une importante vulnérabilité du sol par destruction préalable de sa couverture végétale protectrice.

MÉTHODE EXPÉRIMENTALE SUIVIE

Pour suivre les différentes étapes d'évolution ou de dégradation d'un paysage donné, nous avons eu recours aux prises de vues stéréoscopiques réalisées à partir d'une même station.

L'appareil spécial utilisé pour ces opérations est un S.M.K.-Zeiss composé de deux appareils photographiques à déclenchement simultané dont les chambres métriques, imprimant sur les clichés des repères marginaux, permettent un calage précis des images en vue de leur exploitation métrique.

Les couples de clichés stéréoscopiques ainsi obtenus peuvent être observés en relief sous un stéréoscope ou sont susceptibles, après leur mise en place correcte dans un appareil de restitution du type Stéréoflex S.O.M. ou Stéréotop Zeiss, d'une exploitation métrique fondée sur des mesures de différences de parallaxe longitudinale, proportionnelles à la distance séparant les différents points du paysage à l'appareil de prise de vue.

L'application de cette méthode, relevant de la photogrammétrie, conduit à la réalisation d'esquisses, en courbes de niveau, représentant, en plan et en élévation, le sujet photographié.

Une nouvelle prise de vues, à partir du point exact de la précédente, quelques mois ou quelques années plus tard, permettra de dresser une nouvelle esquisse et la superposition de deux épreuves révélera les modifications précises intervenues au niveau de l'objet étudié au cours du laps de temps séparant les deux séries d'images.

Il peut s'écouler plusieurs mois ou plusieurs années avant qu'une modification sensible du paysage apparaisse entre deux séries successives de clichés.

En effet, des périodicités de prises de vues de trois mois d'abord, de six mois ensuite adoptées au début de notre expérimentation, n'ont fait apparaître aucune évolution perceptible des sites étudiés et ce n'est finalement qu'au bout d'une période de

trois ans que nous avons pu déceler de légères modifications dans quelques uns d'entre eux.

Ainsi, la comparaison, à quelques années d'intervalle, d'images stéréoscopiques permet l'observation et la mesure d'une évolution géomorphologique, parfois très perceptible, comme le montre le premier des trois exemples cités ci-dessous. Par contre, en d'autres lieux où les formations présentes se prêtent moins bien à l'agressivité du ruissellement, on ne remarque aucune modification sensible du modèle topographique malgré le caractère spectaculaire des sites.

D'une manière générale, la comparaison des résultats obtenus sur l'ensemble des secteurs étudiés montre que les différences constatées dans l'évolution géomorphologique des sites tiennent essentiellement à la nature des terrains concernés (composition du sol et relief), ainsi qu'à l'intensité de l'action des facteurs atmosphériques sur le milieu (stabilité assurée au-dessous d'un certain seuil d'agressivité, profondes et rapides modifications, au contraire, au-delà de ce seuil).

Dans un même intervalle de temps, les modifications constatées ont été, par exemple, plus sensibles dans l'arène granitique que dans les sols argileux : par sa granulométrie grossière et quelque peu disjointe, par sa plus grande vulnérabilité aux effets du gel et du dégel, l'arène granitique s'avère beaucoup plus sensible à l'action des eaux de ruissellement. Par contre l'argile est plutôt sujette à des mouvements d'ensemble surtout lorsqu'elle surmonte un niveau aquifère important.

LOCALISATION ET NATURE DES SITES RÉSULTATS

Les différents sites étudiés appartiennent tantôt à des substrats sédimentaires, tantôt cristallins.

Seule est évoquée ici, à titre d'illustration de la méthode, l'évolution de trois des sites les plus caractéristiques : secteurs de Caillastre et d'Osséja, sur terrains miocènes discordants sur des formations

paléozoïques contenues à l'intérieur d'un graben et secteur de Quérigut en terrain granitique (Cf figures 1 à 3 composées chacune de deux couples de photographies stéréoscopiques prises successivement en novembre 1973 et novembre 1976).

1. SECTEUR DE CAILLASTRE (Cerdagne) (fig. 1).

Sol argileux et fortement humidifié qui, dans son inclinaison générale Sud, offre un profil en « paliers »

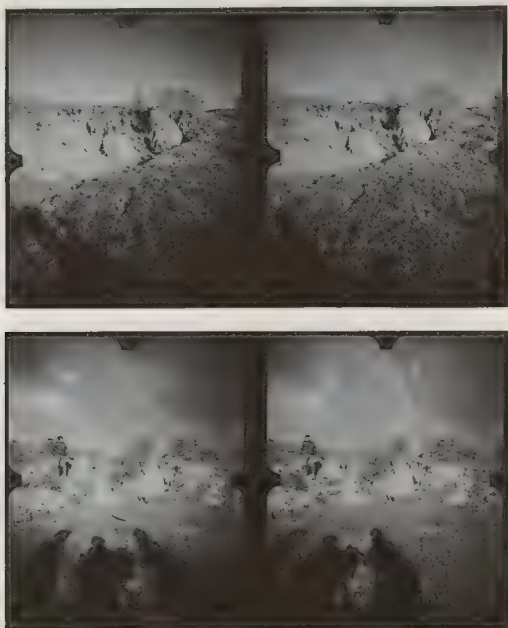


FIGURE 1

Cl. C. ARLES

dont un plus accusé dessine un talus d'environ deux mètres de hauteur.

On observe, sur les premiers clichés, trois sillons profonds à profil très inégal entaillant la paroi, dont un central et deux latéraux plus étroits.

En tête du talus un arbrisseau et une couverture herbacée débordante surplombant sa paroi.

Sur le second couple photographique, érosion considérablement plus avancée : élargissement et approfondissement des sillons, éboulement et quasi

The image consists of two pairs of black and white photographs, each pair showing a different view or state of a talus (slope). The top pair shows a slope with some vegetation at the top and a relatively smooth face. The bottom pair shows a more eroded slope with deep, irregular gullies (sillons) and a more pronounced talus at the top.

FIGURE 2

CL. C. ARLES

disparition de la cloison séparant le central du latéral gauche, matériaux arrachés et entraînés en aval, recul de la paroi subverticale du talus et affaissement sur 20 cm environ, du pied de l'arbrisseau.

2 SECTEUR D'OSSÉJA (Cerdagne) (fig. 2).

Sol marno-argileux, meuble et peu cohérent, profondément recoupé par l'érosion (séries de crêtes



FIGURE 3

Cl. C. ARLES

saillantes en « lames de couteau » que séparent de profonds ravins (paysage de « bad-lands » caractéristique).

La végétation disparue sur les pentes subverticales (lande et arbustes) n'a pu se maintenir que sur le haut des crêtes.

Les clichés montrent, sur le flanc d'un de ces promontoires, une importante nervure de matériaux friables.

La comparaison, à trois ans d'intervalle, des clichés concernant cet élément du paysage particulièrement bien exposé, *a priori*, à l'agression des agents atmosphériques, ne fait guère ressortir de modifications apparentes sur toute sa surface. La seule différence remarquée, au terme de la période, tient à une accumulation légèrement plus abondante au fond du thalweg étroit, d'éboulis de pente en porvenance des versant des deux promontoires.

3. SECTEUR DE QUÉRIGUT. Route forestière du Laurenti (fig. 3).

Granite fortement altéré et arénisé.

Ces photographies concernent un versant d'arène granitique, *a priori* très vulnérable en raison de sa forte pente (70 à 80 %), parsemé de touffes de Callune et de « mattes » de pin à crochet.

Or, il ne ressort, de la comparaison des photos 1976 à celles de 1973, que les quelques détails ci-après :

Creusement de quelques sillons verticaux sur le flanc du coteau, consécutif à l'arrachement, par les eaux de ruissellement, d'assez nombreux éléments d'arène, venus s'accumuler au bas de la pente.

Parallèlement, décrochement et glissement vers l'aval, de quelques touffes de Callune dont certaines ont été totalement disloquées.

On notera, sur ce dernier exemple, une absence de concordance entre les deux séries de prises de vues.

Elle est due à la destruction des repères implantés sur le terrain en 1973.

CONCLUSION

Compte tenu de l'évolution extrêmement lente qui caractérise généralement les faciès géomorphologiques, dans des conditions climatiques de type habituel, nous ne pouvions guère nous attendre à enregistrer des modifications spectaculaires en deux ou trois années seulement.

Il aurait pu en être autrement si, au cours de cette même période, étaient intervenues des manifestations météorologiques exceptionnelles, ce qui n'a pas été le cas.

Toutefois, une légère évolution a pu être un peu partout décelée dans nos sites, par la simple comparaison de nos clichés stéréoscopiques, avec une finesse et une précision suffisantes qu'est donc capable d'apporter l'emploi de la stéréophotogrammétrie dans ce type de recherches.

L'utilisation pratique de telles méthodes exige, en tous cas, que l'expérimentation soit conduite sur une très longue période — peut être de l'ordre de plusieurs décennies — et moyennant des garanties suffisantes quant à la répétitivité des prises de vues et à la permanence de leur exploitation.

BIBLIOGRAPHIE

- BONNEVAL (H.), 1972. — Photogrammétrie Générale — Restitution (II), Méthodes et Appareils (III). Eyrolles.
- HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1969. — L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques — 2^{me} éd., 109-142, Masson.
- LETOURNEUR (J.) et MICHEL (R.), 1971. — Géologie du Génie Civil « Les mouvements du sol ». 4, p. 158, A. Colin.

MODALITÉS ET CONSÉQUENCES DE LA RÉGRESSION DE L'AGRICULTURE DANS LA COMMUNE DE QUÉRIGUT (ARIÈGE)

par Claude TOSCA

Laboratoire d'Ecologie Végétale, Université Paul Sabatier, Toulouse III,
31077 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

Le processus d'abandon des parcelles autrefois cultivées semble avoir pour origine des facteurs aussi bien humains (distance au village, accessibilité), qu'édaphiques (essentiellement la profondeur du sol). Dans la région étudiée, le substrat géologique étant uniforme l'épaisseur de la couche est aussi le paramètre essentiel de l'évolution plus ou moins rapide de la couverture végétale. L'implantation artificielle de résineux est à l'origine de phénomènes très rapides de dégradation du sol par podzolisation.

Située dans la haute vallée de l'Aude, la région de Quérigut a été le siège, il y a de cela plusieurs décennies, d'un exode important de la population rurale; si ce phénomène n'est pas spécifique de cette partie du territoire français, on n'a pas observé, comme dans la plupart des zones rurales, une redistribution des terres entre les exploitants restés en place; il s'en est suivi un abandon dans l'utilisation d'un grand nombre de parcelles, ce qui a entraîné une modification du paysage. Le but du travail effectué tant sur le terrain qu'au laboratoire a été de déterminer quelles ont pu être à la fois les causes et les conséquences de la régression de l'agriculture à partir de l'histoire des parcelles cadastrales de la commune de Quérigut.

SUMMARY

Abandon process of fields cultivated in the past seems to originate from factors which may be human factors (distance from village, accessibility) as well as edaphic factors (essentially soil depth). Likewise in the area investigated, where geological substratum is uniform, the thickness of the loose layer is the most important parameter of the plant cover evolution. Planting of coniferous seedling has induced very fast phenomena of soil depletion by podzolization.

I. — L'ABANDON AVANT 1942

A. — MÉTHODES D'ÉTUDE.

1) *L'histoire des parcelles cadastrales* a été reconstituée par A. FABRE à partir de différentes missions photographiques aériennes. Nous nous sommes contentés pour notre étude d'un échantillon de ces parcelles en tenant compte à la fois de l'exposition, de la situation topographique (haut de versant, mi-versant et bas de versant) et du type physiologique (culture, friche, lande et bois) observé en 1942 et 1972.

Notre étude a ainsi porté sur 40 parcelles dont le devenir est résumé dans le tableau suivant :

TABLEAU 1

Evolution de la physionomie de 40 parcelles cadastrales entre 1942 et 1972, (entre les parenthèses est indiqué le nombre de parcelles étudiées).

Etat en 1942	Etat en 1972
Cultures (10)	Friches Landes à sarothamne (5) Bois de feuillus (2) Bois de résineux (3)
Friches (13)	Landes à sarothamne (5) Landes à callune (2) Bois de feuillus (3) Bois de résineux (6)
Landes (14)	Landes à sarothamne (7) Bois de feuillus (1) Bois de résineux (6)
Bois (3)	Feuillus résineux (1) (2)

2) *Sur le terrain* nous avons procédé, outre à un inventaire floristique de chaque parcelle, à une mesure de l'épaisseur du sol et à des prélèvements à différentes profondeurs (à — 5 cm et à — 20 cm) en vue d'analyses ultérieures au laboratoire.

3) *Etudes au laboratoire* : le but recherché a été d'obtenir par le minimum d'analyses le maximum d'informations sur la fertilité des sols et sur l'évolution de la pédogenèse; pour ce faire, après séchage de l'air et tamisage à 2 mm des échantillons de sol prélevés nous avons étudié les paramètres suivants :

a) la *pH du sol* : mesure au pH mètre d'une suspension de sol dans l'eau distillée dans le rapport 1/2,5;

b) la *matière organique du sol*, le carbone a été dosé selon la méthode de WALKLEY-BLACK et l'azote total selon la méthode de KJELDAHL;

c) l'*aluminium échangeable* extrait par percolation d'un échantillon de sol à l'aide d'une solution de KCl, l'aluminium (sous forme Al^{+++}) est dosé par colorimétrie (méthode à l'Eryochrome cyanine);

d) l'*alumine et le fer « libres »* : ils ont été extraits à l'aide du réactif de TAMM; le fer a été dosé directement dans la solution d'extraction par absorption atomique; l'aluminium libre a été dosé par colorimétrie, comme la forme échangeable, après destruction de la matière organique présente dans le percolat.

B. — RÉSULTATS ET DISCUSSION.

Lors de l'étude sur le terrain il nous est apparu que deux sortes de facteurs ont eu une influence sur l'histoire de l'abandon cultural :

— un premier type de facteur est d'ordre édaphique et lié essentiellement à la profondeur du sol, l'homogénéité du substratum (arène granitique) entraînant une homogénéité agrochimique remarquable (sols sableux très acides);

— un deuxième type de facteur ayant entraîné l'abandon de l'exploitation de certaines parcelles est d'ordre humain; on peut l'expliquer par la distance séparant la parcelle du lieu d'habitation (essentiellement le village de Querigut) et son accessibilité.

C'est ce que confirme l'analyse détaillée de ces facteurs.

1) *Le facteur « profondeur du sol »* : les différents relevés effectués ont été regroupés en 4 classes :
— classe I : profondeur inférieure ou égale à 20 cm;
— classe II : profondeur comprise entre 20 et 30 cm;
— classe III : profondeur comprise entre 30 et 40 cm;
— classe IV : profondeur supérieure à 40 cm.

En nous inspirant des travaux de J.C. GUILLERM, pour l'étude des relations entre les espèces végétales et les divers facteurs écologiques, nous avons élaboré les « profils écologiques » des états physiologiques en 1942 vis-à-vis du facteur « profondeur du sol » (figure 1).

Comme l'a fait remarquer GUILLERM la fréquence relative tient compte du nombre de relevés effectués dans chaque classe du facteur, mais elle ne fait pas intervenir la fréquence de l'état physiologique dans l'ensemble des relevés. Pour pouvoir comparer d'une

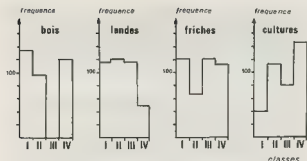


FIG. 1. — Profils écologiques établis en fonction du facteur « profondeur du sol » pour les quatre états phytosociologiques observés en 1942.

façon équivalente tous les états phytosociologiques entre eux vis-à-vis des différents facteurs étudiés, on « corrige » les fréquences relatives en les divisant par la fréquence moyenne de l'état dans l'ensemble des relevés. La fréquence « corrigée » ainsi obtenue aura des valeurs élevées pour les états fréquents et des valeurs faibles pour des états rares.

C'est ainsi que dans la classe I du facteur profondeur du sol, les bois et les cultures ont tous deux une fréquence relative égale à 10 %, mais les « fréquences corrigées » sont respectivement de 133 et 40.

La figure 1 fait apparaître clairement l'importance du facteur « profondeur du sol » — qui correspond en fait à l'épaisseur de la couche arable dans les cas étudiés — dans l'abandon de l'exploitation des parcelles; le profil des fréquences corrigées des parcelles encore cultivées en 1942 montre que celles-ci se rencontrent surtout sur des sols profonds, (classe IV du facteur), alors que les parcelles abandonnées en premier — elles sont déjà à l'état de bois en 1942 — avaient une valeur agronomique relativement faible. Exception qui confirme la règle, la parcelle boisée en 1942 et se trouvant sur un sol épais (profondeur supérieure à 40 cm) ne correspond pas en fait à un stade d'abandon culturel proprement dit mais à une modification du mode d'exploitation car c'est une plantation de pins sylvestres.

2) Le facteur « distance au village » : le paramètre a été estimé en prenant le village de Quérigut comme centre de cercles concentriques et de rayon 500,

1 000 et 1 500 m; les distances ont été regroupées en quatre classes :

classe I : distance inférieure à 500 m.

classe II : distance comprise entre 500 et 1 000 m.

classe III : distance comprise entre 1 000 et 1 500 m.

classe IV : distance supérieure à 1 500 m.

Comme pour le facteur « profondeur du sol », nous avons établi les « profils écologiques » des parcelles vis à vis du paramètre « distance au village » (fig. 2); on peut ainsi se rendre compte de l'importance de l'éloignement de la parcelle dans le processus de mise en abandon : en 1942 sont encore maintenues en culture essentiellement des parcelles proches du village, tandis que les friches qui sont d'abandon récent sont les plus éloignées, et que les landes — parcelles abandonnées depuis plus longtemps encore — se trouvent aussi, mais de façon moins marquée, à des distances assez grandes.

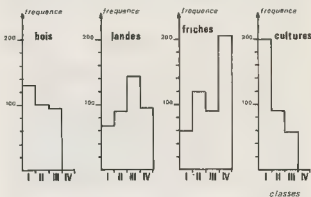


FIG. 2. — Profils écologiques en fonction du facteur « distance au village ».

3) Le facteur « accessibilité » a été estimé en tenant compte des voies de communication permettant l'accès aux différentes parcelles; quatre classes ont été ainsi définies :

- classe I : bonne accessibilité : parcelles proches d'une route à circulation automobile;
- classe II : accessibilité moyenne : parcelles dont l'accès n'est possible que par un chemin pouvant être emprunté par un attelage;

- classe III : accessibilité médiocre : accès par un sentier;
- classe IV : accessibilité mauvaise : parcelles éloignées de toute voie de communication.

Les profils écologiques pour ce facteur « accessibilité » ont été représentés sur la figure 3; on peut ainsi juger, dans le processus d'abandon, de l'importance de ce facteur à la fois « physique » et humain; l'encombrement de plus en plus important du matériel agricole nécessitant des voies d'accès de plus en plus larges, il est certain que les parcelles dont les voies d'accès ne permettaient le passage que d'un homme ou tout au plus d'un attelage furent très tôt abandonnées. C'est ainsi que les landes se retrouvent actuellement dans les classes III et IV, tandis que les parcelles cultivées encore en 1942 sont toutes d'accès facile.

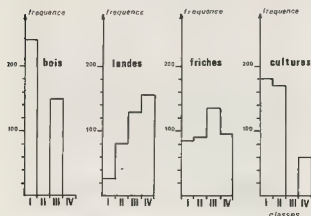


Fig. 3. — Profils écologiques en fonction du facteur « accessibilité ».

C. — CONCLUSION.

En 1942 le processus d'abandon était déjà largement entamé dans la commune de Quérigut et pour certaines parcelles l'abandon remontait même à plusieurs décennies. En faisant l'hypothèse que les différents états phytosociologiques observés en 1942 correspondent à des dates d'abandon de plus en plus reculées dans le temps du stade friche au stade bois (hypothèse vraisemblable compte tenu de l'homogénéité climatique et du substrat pédologique), on peut

dire que les trois facteurs retenus — profondeur du sol, distance au village, accessibilité — n'ont pas eu le même poids sur le processus d'abandon des parcelles; de même leurs actions ne se sont pas exercées au même moment.

On peut résumer le processus d'abandon antérieur à 1942 de la façon suivante :

— dans un premier temps furent abandonnées les parcelles associant une faible valeur agronomique à une accessibilité médiocre, même si elles étaient relativement proches du village;

— dans un deuxième temps l'abandon s'étendit à toutes les parcelles éloignées d'accessibilité encore moyenne, et indépendamment de l'épaisseur de la couche arable.

II. — L'ÉVOLUTION DEPUIS 1942

Lorsque cesse toute pratique culturale dans un territoire, le paysage évolue suivant un processus bien connu depuis longtemps jusqu'au stade climax, représenté dans nos régions par la forêt; dans cette évolution naturelle du stade pelouse au stade forêt climacique certaines étapes peuvent être court-circuitées par la volonté de l'homme; c'est ainsi que dans la commune de Quérigut la modification des paysages résulte à la fois d'un abandon de toute pratique culturale et d'une modification de l'emprise humaine (parcelles reboisées pour une exploitation à court terme — sapins de Noël — ou à long terme — pins sylvestres et mélèzes). Mais celle-ci ne s'exerce que de façon très restreinte car le reboisement artificiel ne concerne que 5 parcelles sur les 37 analysées et qui ont subi une modification de leur couverture végétale entre 1942 et 1972. La commune de Quérigut constitue donc un bon support pour une étude des conséquences écologiques de la cessation de toute activité agricole.

A. — L'ÉVOLUTION DE LA VÉGÉTATION.

En trente ans le paysage s'est modifié considérablement et nous avons résumé dans le tableau I

l'histoire des parcelles inventoriées; on peut dire que « grosso modo » elles sont couvertes en 1972 par les landes ou par des bois, qu'elles aient eu à l'origine aussi bien des cultures, des friches ou même des landes.

La couverture de certaines parcelles a donc ainsi rapidement évolué tandis que pour d'autres la modification s'est opérée plus lentement ou même enfin il n'y a pas eu modification du paysage.

C'est encore le facteur « profondeur du sol » qui semble être responsable de cette diversité dans l'évolution des différentes parcelles. En calculant les fréquences corrigées des landes et des bois en 1972 vis à vis de ce facteur écologique (et ceci pour les trois états initiaux : culture, friches et landes), nous pouvons tracer les profils écologiques; de la figure 4 il ressort ainsi que pour des sols de faible épaisseur le stade observé en 1972 est celui de la lande à sarothamne quel que soit l'état initial; par contre pour le stade « bois » les profils sont quasiment symétriques de ceux des landes. La réponse de la végétation au facteur profondeur du sol apparaît encore plus nettement dans la figure 5 où sont représentés les profils des fréquences corrigées pour les landes et les bois de 1972 sans tenir compte de l'état de 1942; le stade forestier n'a été atteint que sur des sols relativement profonds; lorsque l'épaisseur ne dépasse pas 20 cm c'est la lande qui s'installe et persiste.

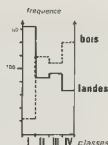


FIG. 5. — Profils écologiques établis en fonction du facteur « profondeur du sol » pour les bois et les landes (état en 1972).

Si la cinétique de l'évolution apparaît ainsi être nettement dépendante du facteur « profondeur du sol » celui-ci intègre en fait un grand nombre des propriétés physicochimiques du milieu édaphique; une étude portant sur les disponibilités en eau ou en éléments minéraux, entre autre, apporterait sans doute des précisions quant aux causes profondes de la diversité des comportements des différentes parcelles.

B. — L'ÉVOLUTION DES SOLS.

Outre les modifications observées dans le paysage, de sensibles transformations se sont produites dans le chimisme des sols que nous avons tenté d'atteindre par les différentes analyses mentionnées plus haut.

1) *Le pH du sol* : la roche-mère étant d'origine granitique il n'est pas surprenant de ne rencontrer que des sols franchement acides (la moyenne des pH mesurés dans l'horizon superficiel des 40 parcelles est de l'ordre de 5,1). Mais les parcelles inventoriées nous permettent de voir le sens et l'intensité de l'évolution du pH et l'influence de la végétation sur le processus d'acidification.

Dans le tableau II ci-dessous sont portées les valeurs moyennes des pH de l'horizon superficiel des landes à sarothamne, des bois de feuillus et de résineux en fonction de l'origine des parcelles.

Plusieurs constatations peuvent être faites à l'observation de ce tableau :

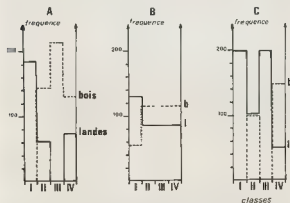


FIG. 4. — Profils écologiques établis en fonction du facteur « profondeur du sol » pour les bois et les landes de 1972 en fonction de l'état en 1942; (A = friches, B = landes, C = cultures).

TABLEAU II

pH de l'horizon superficiel des landes, bois de feuillus et de résineux en fonction de l'origine des parcelles.

Origine (état en 1942)	Type phytosociologique en 1972	Landes à sarthamne (17 par- celles)	Feuillus (7 par- celles)	Résineux (14 par- celles)
Cultures		5,54	5,15	4,96
Friches		5,4	5,33	4,8
Landes		5,26	4,9	4,9
Bois			5,10	4,4
Moyenne		5,4	5,12	4,76

TABLEAU III

Teneur en Al^{+++} échangeable à -5 cm et à -20 cm sous les landes et les bois en fonction de l'origine des parcelles (les teneurs sont exprimées en ppm de la fraction minérale).

Etat en 1972 état en 1942	Landes		Feuillus		Résineux	
Niveau de prélèvement	- 5 cm	- 20 cm	- 5 cm	- 20 cm	- 5 cm	- 20 cm
Cultures	33	55	21	110	140	105
Friches	23	127	34	43	99	133
Landes	14	106	28	329	171	257
Bois			45	0	260	192
Moyenne	23	96	32	120	167	171

• d'une part sur le rôle important des résineux dans le processus d'acidification du substrat : pour une même origine en 1942 le pH mesuré sous forêt de résineux est toujours inférieur à celui enregistré sous les landes à sarthamne et sous les feuillus.

• d'autre part, malgré une légère baisse du pH sous la lande à sarthamne au cours du temps, le genêt à balai maintient le pH du sol à des valeurs qui ne sont ni encore trop basses ni incompatibles avec une activité biologique normale.

Les valeurs du pH ne sont, en fait, qu'une traduction du processus d'altération du substrat; les mesures des teneurs en aluminium échangeable vont nous permettre de déterminer avec plus de précision l'importance de cette dégradation du sol, et la diminution de la fertilité du sol qui en résulte.

2) *L'aluminium échangeable* : dans le tableau III, nous avons porté, comme pour les valeurs du pH du sol, les teneurs moyennes en aluminium échangeable (exprimées en ppm de la fraction minérale du sol), à -5 cm et -20 cm, enregistrées sous les landes, les bois de feuillus et les résineux et en fonction de l'origine des parcelles.

Le rôle de la couverture végétale apparaît avec netteté; sous résineux, la libération d'aluminium échangeable Al^{+++} est cinq fois plus importante en moyenne que sous les feuillus et sept fois plus élevée que sous sarthamne; c'est l'agressivité des

acides organiques libérés lors de la décomposition de la litière des résineux qui doit être ici mise en cause.

Des différences de comportement de l'aluminium échangeable sous les trois types de végétation sont aussi perceptibles : « migration » apparente sous sarthamne et sous feuillus, pas de migration sous résineux; les causes de ces différences seraient à rechercher au niveau des complexes d'échanges dont les taux de saturation en bases échangeables doivent différer sensiblement suivant l'origine des sols. Le rôle des feuillus dans la « remontée » des bases est en effet bien connu et les cations restitués au sol par la litière, empêchant la fixation des ions Al^{+++} sur le complexe d'échange, ceux-ci doivent obligatoirement migrer dans le profil; la présence en profondeur d'un complexe d'échange de nature différente (essentiellement argileux car la teneur en matière organique y est faible) leur permet alors de se fixer.

Le comportement différent de l'aluminium sous forêt de résineux (teneurs plus élevées et migration dans le profil) est à mettre en relation avec le rôle hydrolysant des produits de décomposition de la litière des résineux, rôle que nous retrouverons en abordant le comportement des formes « libres » du fer et de l'aluminium.

3) *Le fer et l'aluminium « libres »* : l'altération du sol peut être aussi perçue par la formation et le comportement dans le profil des formes dites « libres » du fer et de l'aluminium

Dans la figure 6 nous avons représenté les teneurs en ces deux constituants — exprimées en ‰ de la fraction minérale du sol — aux niveaux -5 cm et -20 cm sous les différents types physiologiques de végétation observables en 1972, et dans chaque cas

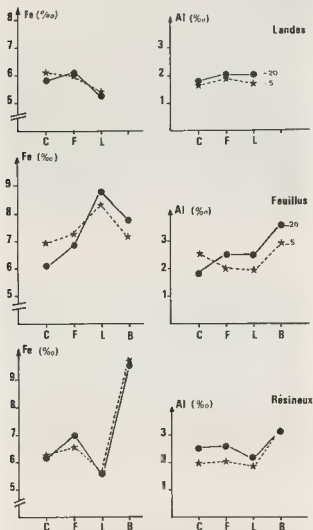


FIG. 6. — Teneur en Fer et Aluminium « libres » à -5 cm (•) et -20 cm (*) sous les landes, les forêts de feuillus et de résineux en fonction de l'état des parcelles en 1942; (C = cultures, F = friches, L = landes, B = bois).

en fonction de l'état des parcelles en 1942. Il apparaît ainsi que ces deux formes chimiques subissent des phénomènes d'immobilisation ou de migration différents : les teneurs en fer libre sont constantes dans le profil alors que les teneurs en aluminium libre sont toujours plus élevées en profondeur qu'en surface; on retrouve là les caractères essentiels des sols ocres podzoliques qui se forment sur sols bien drainés (DUCHAUFOR, 1970).

Par contre, si les teneurs en alumine n'augmentent que très peu au cours du temps, lorsque la forêt s'installe, la teneur en fer a au contraire tendance à croître.

De plus, tant pour le fer que pour l'alumine, le rôle de la végétation est ici aussi important; l'altération sous forêt est nettement plus élevée que sous la lande à sarothamne; elle atteint son maximum sous la forêt de résineux où la décomposition des débris libère des acides organiques solubles très agressifs vis à vis de la partie minérale du complexe absorbant.

4) *La matière organique du sol* : dans le tableau IV sont consignés les résultats des analyses portant sur l'étude de la matière organique du sol; nous nous sommes limités aux dosages du carbone et de l'azote total car, par le calcul du rapport C/N, nous pouvons caractériser le type d'humus formé et avoir une idée de l'intensité de l'activité biologique.

TABLEAU IV

Teneurs en carbone et azote, et valeur du rapport C/N des horizons superficiels des landes, bois de feuillus et de résineux en fonction de l'origine des parcelles, (les teneurs sont exprimées en % par rapport au sol sec).

Etat en 1972 \ Etat en 1942	Landes			Feuillus			Résineux		
	C %	N %	C/N	C %	N %	C/N	C %	N %	C/N
Cultures	6,17	0,475	13	4,45	0,32	13,9	4,04	0,31	13
Friches	6,16	0,47	13,1	5,56	0,47	11,8	6,06	0,32	18,9
Landes	5,8	0,44	13,1	4,87	0,41	11,8	9,05	0,49	18,4
Bois				3,37	0,336	10	15,28	0,628	24,33

Que ce soit sous la lande à sarothamne ou sous forêt de feuillus la teneur en matière organique ne varie pratiquement pas au cours du temps ce qui est signe d'une activité microbienne suffisamment intense pour transformer la matière organique fraîche et éviter son accumulation. Au contraire sous résineux, les débris végétaux s'accumulent et sont peu dégradés : d'un mull acide à rapport C/N voisin de 13, sous la forêt de résineux on obtient très vite un moder auquel succède un mor très caractéristique avec un rapport C/N égal à 24.

S'il est vrai que les résineux peuvent entraîner une amélioration du sol en accélérant son développement, ce rôle n'apparaît vraiment avantageux que lorsque la décomposition de la roche-mère libère suffisamment d'argile pour former un complexe argilo-humique stable, capable de fixer les bases échangeables et de constituer une réserve utile en eau assez importante. Or tel n'est pas le cas dans cette région du Donezan où du fait de la roche-mère, une arène granitique, tous les sols observés possèdent une texture extrêmement légère ne favorisant la rétention ni des cations échangeables ni de l'eau. Il s'en suit que l'installation de la forêt de résineux, bien souvent favorisée par l'homme, est à l'origine de processus d'acidification et de dégradation du sol, et il est à craindre que le point de non retour soit très vite atteint; à moins d'amendements apportés en grande quantité, la podzolisation déjà perceptible sous les plus anciennes forêts de résineux ne pourra que s'intensifier; elle aboutira rapidement à des sols dont la récupération en vue de cultures éventuelles sera d'un coût prohibitif.

CONCLUSION

L'histoire de la régression de l'agriculture dans la commune de Quérigut nous a permis de mettre en évidence les rôles respectifs des facteurs écologiques et humains dans le processus d'abandon; il nous est apparu que très souvent ils sont indissociables. A travers l'histoire du paysage, c'est un peu l'histoire des hommes que nous retrouvons.

Dans le devenir du paysage, le sol est aussi le premier facteur responsable de la durée des différentes étapes vers le climax; l'homme n'intervient que par la végétation qu'il peut favoriser; malheureusement le choix ne semble pas avoir toujours été judicieux; il semble regrettable que l'implantation de résineux se fasse systématiquement; les meilleurs sols se trouvent eux aussi entraînés dans un processus de dégradation qui paraît irréversible, tout au moins dont la récupération à des fins agricoles traditionnelles sera coûteuse.

BIBLIOGRAPHIE

- DUCHAUPOUR (P.), 1970. — Précis de Pédologie. Masson Ed., 482 p.
- GUILLERM (J.-L.), 1971. — Calcul de l'information fournie par un profil écologique et valeur indicatrice des espèces. *Oecol. Plant.* 6, 209-225.

DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES SOLS ALPINS

par L. LABROUE et C. TOSCA

Laboratoire d'Ecologie végétale, Université Paul Sabatier Toulouse III,
31077 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

Les auteurs étudient la décomposition de la matière organique dans les sols alpins du Pic du Midi de Bigorre. Ils présentent des données sur la production de litière et sa constitution chimique, la vitesse de dégradation, l'humification et la minéralisation. Il apparaît que la dégradation est plus sensible à la composition des résidus végétaux qu'aux conditions mésologiques tandis que c'est le contraire pour la formation des acides humiques. Enfin, les polymères très complexes ne sont que lentement minéralisés.

Parmi les problèmes posés par l'inculture pyrénéenne, l'évolution des alpages sous-pâturés occupe une place de choix. Il est certain que la suppression de la consommation par les herbivores modifie le « bilan d'organo-masse végétale » (DUVIGNEAUD, 1974) et peut, par là, influencer sur l'évolution des sols et des versants. Malheureusement, les éléments de ce bilan sont encore mal connus dans les pâturages de montagne, jusqu'à présent d'intérêt économique réduit et d'étude malaisée. De ce point de vue, le laboratoire de biologie alpine du Pic du Midi, situé à 2 870 m d'altitude, facilite certainement les recherches.

D'un accès facile à partir de régions encore densément peuplées et cultivées, les pelouses du Pic sont encore fortement pâturées. Elles peuvent donc servir de témoin pour une zone altitudinale située à plus de 2 600 m d'altitude (étage alpin).

SUMMARY

The authors examine the decomposition of organic matter in alpine soils of Pic du Midi de Bigorre. They give informations on litter production and chemical constitution, rate of breakdown, humus formation and mineralization. It appears that litter decomposition is more sensitive to plant residues composition than to environmental conditions while the opposite is true for humic acids production. There is considerable evidence that highly complex polymers are only slowly degraded

Dans la mesure de nos moyens, nous avons cherché à évaluer les processus fondamentaux du cycle de la matière organique dans les sols de ces pelouses : les apports de matière organique fraîche, leur dégradation, leur humification et la minéralisation de l'humus formé.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Stations étudiées : Pour les études détaillées, nous avons choisi quatre stations situées en versant sud, sous une végétation à caractère oro-méditerranéen, mais présentant des caractères mésologiques divers :

— une station de crête à *Avena montana* et *Potentilla nivalis* (rendzine alpine typique).

— une station à *Festuca scoparia* sur éboulis fixé (rendzine alpine typique).

— une station à *Festuca eskia* et *Helianthemum scopoli*, sur glaciis (rendzine brunifiée).

— une station de combe à *Festuca eskia*, *Trifolium alpinum* et *Carex pyrenaica* (sol du type cryptopodzolique).

En versant nord, où la végétation a un caractère alpin ou arctico-alpin, nous avons choisi :

— une station de crête à *Elyna spicata* et *Oxytropis campestris* (rendzine alpine typique).

— une station sur éboulis fixé à *Carex curvula* et *Anthyllis vulnerarioides* (sol du type brun calcaire).

Les deux stations suivantes sont situées dans des combes à neige : l'une à *Salix retusa* (pseudogley alpin, à hydromoder), l'autre à *Plantago alpina* (sol du type brun mésotrophe, à pseudogley profond).

Dans ces sols dont les principales propriétés chimiques ont été analysées, les trois catégories trophiques essentielles sont représentées : sols calcaires, sols calciques, sols acides. Il en est de même des principaux types d'humus rencontrés au Pic : moder alpin, mull-moder, hydro-moder et mor calcique. Pour des données écologiques plus complètes, on consultera des travaux déjà publiés (LABROUE et LASCOMBES, 1971, 1972; LABROUE, 1976).

Rappelons que les sols alpins sont des sols froids, dont la température ne dépasse pas 10 °C en profondeur.

Évaluation de la biomasse aérienne : La technique utilisée est inspirée de la méthode « poignées » de De VRIES, (TOSCA et al., 1977).

Décomposition de la matière organique fraîche : Elle a été suivie « in situ » à partir d'échantillons des principales espèces récoltées en automne. Les débris végétaux ont été enfouis à -5 cm et -25 cm de profondeur, à raison de 10 échantillons par horizon.

Humification : Le carbone organique a été dosé par voie humide selon la méthode WALKLEY et BLACK, modifiée par un chauffage à 150 °C (ALLISON, in BLACK, 1965).

L'azote organique total a été dosé par macro-KJELDAHL (DEWARDA).

Les composés humiques ont été obtenus par deux extractions successives : la première par une solution d'hexaméthaphosphate de Na à 5 %, milieu neutre complexant, la seconde par la soude 0,5 N, les acides humiques étant précipités à pH = 1,0, en milieu sulfurique. Les solutions d'humate de Na ont été tamisées sur gels de dextrane Sephadex G 25, G 75 et G 200 successivement, en reprenant l'exclu du gel antérieur.

Minéralisation de la matière organique : dégagement de CO² : Le CO² se dégageant à la surface du sol en place a été recueilli dans la potasse N/10, à l'intérieur d'une cloche de LUNDEGARDH.

RÉSULTATS

I. — ABONDANCE ET PROPRIÉTÉS DE LA MATIÈRE ORGANIQUE APPORTÉE AU SOL.

Dans une formation végétale non ligneuse, les apports au sol de matière organique fraîche peuvent être assimilés à la productivité primaire nette. Cette dernière nous est actuellement inconnue, mais nous avons évalué la biomasse aérienne (1) maximale de la végétation des principales stations (Tableau I). Dans une pelouse alpine on peut considérer que cette biomasse aérienne donne une valeur approchée du minimum de la productivité nette totale. En effet, on peut évaluer la productivité racinaire annuelle à la moitié de la productivité aérienne, laquelle est environ les deux tiers de la biomasse aérienne.

Les pelouses de l'étage alpin inférieur, bien que constituées de graminées à l'aspect xérique, ont des biomasses (et des productivités) très élevées (plus de 300 g.m⁻²), compte tenu des conditions climati-

(1) La biomasse souterraine est plus difficile à obtenir et sa mesure entraîne des dégradations importantes dans la station. Elle peut représenter 0,5 à 5,7 fois la biomasse aérienne, selon les plantes (SCOTT et BILLING, 1964).

TABLEAU I
Biomasse aérienne de quelques pelouses de l'étage alpin.

Groupements de l'étage alpin inférieur	Date	Biomasse en g.m ⁻²	Groupements de l'étage alpin supérieur	Date	Biomasse en g.m ⁻²
1) <i>Avena montana</i> <i>Potentilla nivalis</i>	29/8/74	420	1) <i>Salix retusa</i>	30/9/73	150
2) <i>Festuca scoparia</i>	4/9/73	340	2) <i>Plantago alpina</i> <i>Sibbaldia procumbens</i>	10/8/73	160
3) <i>Festuca eskia</i> <i>Helianth. scopoli</i>	4/9/73	670	3) <i>Carex curvula</i> <i>Anthyllis vulnerarioïdes</i>	9/8/73	180
4) <i>Festuca eskia</i> <i>Trifolium alpinum</i>	9/8/73	300	4) <i>Elyna spicata</i> <i>Oxytropis campestris</i>	10/8/73	240

ques. Leur productivité est environ le double de celle des pelouses formées d'espèces de souche alpine ou arctico-alpine de l'étage alpin supérieur. Ces dernières ont des biomasses analogues à celles de leurs homologues de l'Arctique (BLISS, 1962), ou de l'étage alpin du Wyoming (SCOTT et BILLING, 1964), c'est-à-dire 100 à 200 g.m⁻².

Divers organes des principales espèces des groupements végétaux étudiés ont été récoltés en automne et analysés (Tableau II) : on constate que le rapport C/N est extrêmement variable : les feuilles de Saule nain, de Plantain alpin, de Phléole alpine et de Trèfle alpin, relativement riches en azote, apparaissent comme « améliorantes » avec un rapport C/N inférieur à 30; par contre, fétuques et laiches sont bien moins favorables, et, comme la plupart des graminéoïdes, leurs parties aériennes et souterraines ont des rapports C/N élevés. Dans le détail, cela correspond à des teneurs relativement importantes en lignine « résiduelle », c'est-à-dire capable de résister à l'hydrolyse par SO₄H₂ à 72 % (Lignine de KLASON).

D'une manière générale, on récolte des débris végétaux à décomposition rapide dans les combes à neige (Saules nains, Trèfle et Plantain alpins, Phléole alpine). Par contre, dans les stations à gispet, où la productivité est importante et les débris coriaces, la litière peut persister à la surface du sol au printemps, et parfois durant une partie de l'été. Quant aux résidus souterrains, ils sont encore plus coriaces, mais les apports sont moins importants (1/3 environ de la biomasse).

II. — DÉGRADATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE FRAICHE.

Les litières se forment en automne mais ne se dégradent apparemment qu'au printemps. C'est ainsi qu'à la fonte des neiges, les gradins à gispet sont recouverts d'un pailis dans lequel les mulots des neiges ont aménagé des couloirs et effectué des prélèvements abondants, si l'on en juge d'après les déjections. A la fin de l'été, cette litière a disparu, sans que nous puissions préciser les rôles respectifs de l'érosion, de la consommation, de la minéralisation et de l'humification.

A. — Dégradation globale.

Dans notre expérience (Tableau III), nous constatons que les différences entre échantillons et entre horizons sont faibles pour un même substrat. Cela confirme l'influence prépondérante de la nature des débris végétaux sur les facteurs écologiques, lors de la décomposition (JENKINSON, 1965). C'est ainsi qu'en un an, les feuilles de saule ou de plantain perdent plus de la moitié de leur poids en versant nord. Par contre, les racines de fétuques, pourtant incubées en versant sud, ne perdent que 10 % de leur poids pendant la même durée d'incubation. Le taux de dégradation élevé, joint à une productivité faible ou moyenne (au sens de OLSON, 1963), explique l'ab-

TABLEAU II

Caractères biochimiques principaux de quelques espèces végétales récoltées en automne
(résultats exprimés en % de poids sec à 70 °C).

Espèces	C total %	N total %	C N	Lipoides %	Hemi-cellulose %	Cellulose %	Lignine de Klason %	Protéines %	Divers et Pertes %
<i>Avena montana</i>									
Feuilles et tiges	46	0,83	56	16	22	23	24	5,2	9,8
Racines	45	0,70	65	13	17	24	38	4,4	3,9
<i>Festuca scoparia</i>									
Feuilles et tiges	48	0,72	67	9	22	23	40	4,5	1,5
Racines	51	0,67	76	12	18	25	36	4,2	4,8
<i>Festuca eskia</i>									
Feuilles et tiges	44	1,02	43	13	11	20	49	6,2	0,8
Racines	50	1,12	43	18	10	11	46	7,0	8,0
<i>Carex curvula</i>									
Feuilles et tiges	48	0,69	69	19	12	22	36	4,3	6,2
Racines	47	0,69	67	15	10	19	38	4,3	3,7
<i>Elyna spicata</i>									
Feuilles et tiges	49	0,67	76	20	12	25	33	6,0	4,0
Racines	48	0,96	52	11	15	21	37	5,8	10,2
<i>Potentilla nivalis</i>									
Feuilles	47	0,90	52	17	25	24	20	5,6	8,4
Tiges et racines	46	0,65	71	27	16	10	39	4,0	4,0
<i>Salix retusa</i>									
Feuilles	47	1,51	31	35	8	9	27	9,4	11,6
Tiges et racines	55	1,06	52	30	10	12	39	6,6	2,4
<i>Trifolium alpinum</i>									
Feuilles	49	1,91	26	22	13	24	27	11,9	2,1
Tiges et racines	50	1,10	46	19	15	33	21	6,9	5,1
<i>Plantago alpina</i>									
Feuilles et tiges	45	2,17	21	20	13	15	31	13,6	7,4
Racines	45	1,22	36	22	20	12	32	7,6	6,4

sence de cette litière permanente qui caractérise, par contre, les groupements sub-alpins à résineux ou à Ericacées.

L'incubation *in vitro*, à 20 °C, des débris récoltés confirme le rôle important de la nature des litières (Tableau III). Cependant, au bout d'un mois d'incubation à cette température relativement élevée, il semble que l'écart soit estompé entre les substrats les plus dégradables et ceux qui le sont moins. Tout se passe comme si le milieu alpin permettait une dégradation normale des substrats les plus labiles mais était incapable d'assurer celle des plus résistants. Ce phénomène apparaîtra encore dans la déshumification.

B. — Dégradation des constituants.

Dans le détail, les fonctions physiologiques susceptibles d'être effectuées par une microflore peu spécialisée ne sont guère entravées par les basses températures; c'est le cas de la glycolyse et de la protéolyse (LABROUE, 1976).

Inversement, la dégradation des grosses molécules est beaucoup plus sensible au froid. C'est le cas de la cellulolyse, presque inexistante en versant nord (LABROUE et LASCOMBES, 1975). C'est aussi le cas de la ligninolyse et de la deshumification (lignines et acides humiques formés sont difficiles à séparer).

TABLEAU III

Décomposition de la matière organique fraîche fournie par les principales espèces végétales des stations étudiées. Résultats : perte de poids en % de matière sèche (Moyennes de 4 échantillons récupérés). Matériel récolté en octobre 1971 et séché à 75 °C.

Matériel incubé	Sites	Décomposition sur le terrain d'octobre 1971 à octobre 1972		Décomposition au laboratoire 1 mois à 28°C	
		Perte individuelle des sachets récupérés %	Perte moyenne %	Aérobiose %	Anaérobiose %
<i>Potentilla nivalis</i>	Sud				
Feuilles	— 5 cm	25,2 26,0 29,6 29,2	27,5	27,6	27,6
Tiges et racines	— 5 cm	16,8 9,6 12,0 12,4	12,7	27,4	26,8
—	— 25 cm	10,6 10,4 8,0 12,0	10,2		
<i>Avena montana</i>	Sud				
Parties aériennes	— 5 cm	57,6 60,8 60,4 64,0	60,7	38,0	29,2
Racines	— 5 cm	26,2 37,0 33,2 29,8	31,5	28,4	20,4
—	— 25 cm	23,2 25,6 21,6 22,0	23,1		
<i>Festuca scoparia</i>	Sud-est				
Parties aériennes	— 5 cm	43,2 45,0 46,2 44,0	44,6	32,0	29,2
Racines	— 5 cm	10,4 11,0 11,6 11,5	11,1	26,2	20,0
—	— 25 cm	13,4 11,6 9,6 10,4	11,2		
<i>Festuca eskia</i>	Sud-est				
Parties aériennes	— 5 cm	41,2 42,4 40,8 38,4	40,7	43,0	37,8
Racines	5 cm	8,4 9,2 6,8 5,4	7,4	17,2	14,8
—	— 25 cm	9,2 13,0 10,4 13,8	11,6		
<i>Trifolium alpinum</i>	Sud-est				
Parties aériennes	— 5 cm	61,1 64,0 64,0 64,4	63,3	56,4	45,6
Racines	— 5 cm	73,0 70,2 72,4 74,4	72,5	41,4	42,0
—	— 25 cm	73,0 67,4 71,6 67,6	69,9		
<i>Elyna spicata</i>	Nord				
Parties aériennes	— 5 cm	33,6 34,4 28,2 31,3	31,8	34,0	22,0
Racines	— 5 cm	19,4 24,6 18,4 20,6	20,7	22,8	18,0
—	— 25 cm	10,8 18,0 12,4 14,2	13,8		
<i>Carex curvula</i>	Nord-est				
Parties aériennes	— 5 cm	27,4 22,1 20,9 25,6	24,0	26,4	21,8
Racines	— 5 cm	20,0 20,8 15,2 18,8	18,7	17,2	5,6
—	— 25 cm	13,6 13,0 14,4 15,2	14,0		
<i>Plantago alpina</i>	Nord-est				
Parties aériennes	— 5 cm	61,6 51,1 59,8 55,4	57,0	20,8	20,0
Racines	— 5 cm	31,0 39,6 35,2 36,5	35,6	20,8	20,0
—	— 25 cm	25,6 38,4 28,3 31,5	30,9		
<i>Salix retusa</i>					
Feuilles	— 5 cm	60,0 62,4 62,8 56,2	60,3	42,8	45,2
Tiges et racines	— 5 cm	39,6 37,8 34,2 36,4	37,0	40,6	29,2
—	25 cm	37,6 34,2 36,4 34,4	35,6		

Comme nous le verrons, le coefficient de minéralisation de ces hauts polymères est très bas dans les sols alpins.

III. — HUMIFICATION.

Nous avons vu que l'importance du résidu laissé par la dégradation de la matière organique fraîche dépend des propriétés physico-chimiques des débris végétaux. Ces différences ont-elles une influence sur la décomposition de l'humus des sols alpins ?

A. — Répartition et caractères de la matière organique.

Les sols de l'étage alpin du Pic du Midi de Bigorre sont généralement des sols « humifères », au sens de la classification française des sols, puisqu'ils contiennent plus de 10 % de matière organique dans l'horizon superficiel (Tableau IV).

TABLEAU IV

Teneurs moyennes en carbone dans 56 profils de sols alpins du Pic du Midi de Bigorre.

Situation	Alpin inférieur		Alpin supérieur		Sols hydromorphes (8 profils)
	sud (15 profils)	nord (9 profils)	sud (8 profils)	nord (14 profils)	
Horizons					
0 - 5 cm	7,6	12,2	6,9	9,8	6,0
20 - 25 cm	3,7	3,4	2,8	3,1	2,5

Comme on pouvait le prévoir, les sols des versants nord sont plus organiques que ceux des versants sud, du moins en surface. De même, les teneurs sont un peu plus fortes à l'étage alpin inférieur où la productivité végétale est nettement plus élevée.

Les sols hydromorphes sont relativement pauvres en matière organique, surtout en profondeur : la productivité y est encore plus réduite que la minéralisation.

Les caractères de l'humus alpin sont assez homogènes (LABROUE *et al.*, 1975). On remarque surtout un rapport C/N bas (# 10) pour des humus de type moder, en liaison avec la nature herbacée des débris, bien qu'il y ait des différences sensibles dans la qualité des litières des différentes espèces (Tableau II). Le brassage (par exemple graminées-légumineuses), au niveau stationnel, aboutit, pour les débris retournant au sol, à un rapport C/N global inférieur à 50.

Le taux d'extraction ($C. Hum + C. Ful$) / C total est plus élevé en versant sud qu'en versant nord (Tableau V) en liaison avec l'activité biologique plus forte. Cependant, il croît en profondeur dans les sols décarbonatés (où il peut dépasser 45 %) mais c'est grâce à la migration des acides fulviques.

La teneur en acides humiques décroît avec la profondeur et s'avère plus importante en versant sud qu'en versant nord (Tableau V). Elle semble suivre par conséquent, l'importance de l'activité microbienne, liée aux températures; elle est d'ailleurs, encore plus réduite dans les sols hydromorphes où la période d'activité est très limitée.

En ce qui concerne la floculation des acides humiques, il semble qu'au cours de l'évolution pédologique, l'aluminium déplace le calcium au fur et à mesure que le calcaire actif disparaît et que l'aluminium libre augmente.

TABLEAU V

Influence de l'exposition sur la teneur en substances humiques.

Composés humiques	Exposition sud (17 profils)			Exposition nord (19 profils)			Sols hydromorphes (7 profils)	
Horizons	Ah ₁	Ah ₂	(B)	Ah ₁	Ah ₂	(B)	A	G
C. Hum. %	16	15	12	14	12	10	12	11
C. tot.								
C. Hum + C. Ful %	30	36	36	25	29	34	22	26
C. tot.								

B. — Synthèse des acides humiques.

Elle a été étudiée par ailleurs de manière détaillée (LABROUE *et al.*, 1975, 1976). Il semble que dans les sols les plus froids et les plus humides, l'humification se fasse surtout par héritage : les acides humiques sont peu abondants et surtout formés de grosses molécules, probablement dérivées de la lignine. Dans les horizons supérieurs les plus chauds (exposition sud, la néosynthèse microbienne joue un rôle non négligeable (acides humiques verts par exemple).

IV. — MINÉRALISATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE.

A. — Dégagement de gaz carbonique.

Le dégagement du CO_2 produit par le sol peut être mesuré « in situ » mais il est accompagné de celui qui provient de la respiration des racines. Ce dernier constitue de 30 à 70 % du total selon les auteurs (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970) ce qui représente une incertitude appréciable. On peut, par contre, négliger les processus non biologiques (décarbonatation, etc...).

Les valeurs obtenues varient de 78 à près de $800 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ et correspondent à celles de BILLES *et al.* (1971) travaillant sur des sols méditerranéens, et de HILGER (1963) sur des sols équatoriaux.

Ces valeurs élevées, surtout si l'on considère les températures enregistrées, peuvent s'expliquer par l'abondance et la qualité de la matière organique, l'importance de la respiration racinaire et l'adaptation de la microflore, susceptible d'une activité élevée à basse température (psychro-tolérance). En effet, le dégagement de CO_2 est loin d'être négligeable à des températures proches de 0°C , en particulier dans les stations de versant nord (stations à *Elyna spicata* et à *Salix retusa*). ARISTOVKAYA et PARINKINA (1971) ont observé le même phénomène dans la

Cependant il ne nous apparaît pas possible d'éta-

blir un bilan carboné des écosystèmes étudiés à partir des mesures effectuées. Les variations ther-

miques nyctémérales et journalières sont trop importantes pour permettre une interpolation et une intégration à partir d'un petit nombre de mesures. On retiendra simplement que la respiration du sol est élevée pendant la courte saison végétative mais s'effectue aux dépens des substances labiles des résidus de la matière organique fraîche. En effet, dès que le sol s'enrichit en humus, le coefficient de minéralisation du carbone diminue rapidement.

B. — Décomposition de l'humus. Bilan de la matière organique.

On peut séparer (artificiellement) la décomposition des litières, ou de la matière organique fraîche en général, de celle de l'humus du sol; les variations de ce dernier peuvent se déduire alors de la formule (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970) :

$$dC/dt = K_m \cdot M - K_c \cdot C$$

C étant la teneur du sol en humus *sensu lato*, M l'apport de matière organique fraîche dont une fraction K_m donne de l'humus; K_c est le coefficient de décomposition de l'humus. Dans un écosystème en équilibre la variation annuelle d'humus est nulle, on a C_e fixe et :

$$K_m \cdot M = K_c \cdot C_e \text{ soit : } K_c = K_m \cdot M / C_e$$

Admettons que la fraction de la matière organique fraîche humifiée au cours de l'année (K_m) corresponde au résidu de notre expérience de dégradation « in situ » (Tableau III), corrigée en fonction de la diversité spécifique des pelouses. On peut alors calculer le produit $K_m \cdot M$, puisque nous connaissons approximativement l'apport de matière organique fraîche M. (Tableau I). Connaissant la teneur en humus du sol (C), on peut en déduire le coefficient de minéralisation de cet humus (K_c) si $K_c = K_m \cdot M / C$.

A première vue, le coefficient de décomposition de l'humus ainsi calculé paraît plus élevé en versant sud (Tableau VI) ce qui, vu le pédoclimat, semble logique. Cependant, la différence la plus importante réside entre les stations à sols calcaires et celles à sol plus évolué, riche en humus (station à *Festuca*

TABLEAU VI

Décomposition de la matière organique et de l'humus « sensu lato » dans les sols des stations étudiées.

Stations étudiées	Production primaire (M) g. de C/m ²	Teneur en humus (C) 0 à 25 cm g. de C/m ²	Coefficient de décomposition de la matière organique totale(r)	Apport d'humus g. de C/m ²	Coefficient de décomposition de l'humus (Kc)
Versant sud					
<i>Avena montana</i>	190	5 100	0,037	77	0,015
<i>Festuca scoparia</i>	150	3 110	0,048	85	0,027
<i>F. eskia-Hel.</i>	300	10 220	0,029	190	0,019
<i>F. eskia-Trif.</i>	130	11 880	0,012	62	0,005
Versant nord					
<i>Elyna spicata</i>	110	8 680	0,013	73	0,008
<i>Carex curvula</i>	83	6 880	0,012	59	0,009
<i>Plantago alpina</i>	74	9 900	0,008	30	0,003
<i>Salix retusa</i>	69	3 440	0,020	27	0,008

eskia-Trifolium et station à *Plantago alpina*). Dans ces stations, le coefficient de décomposition est particulièrement bas, ce qui suggère :

- qu'elles ont atteint un état proche de l'équilibre;
- que la minéralisation de l'humus « sensu stricto » est très lente en milieu alpin.

Inversement, on peut penser que les autres stations, colonisées par des groupements stabilisateurs ou édificateurs, voient leur stock de matière organique s'accroître annuellement.

On a $dC/dt > 0$ et $C < C_e$.

On peut ne pas admettre les valeurs du coefficient de dégradation de l'humus (Kc), obtenues d'une manière trop artificielle. Dans ce cas, nous évaluerons simplement un coefficient de dégradation de la matière organique totale ou coefficient de JENNY (r). Pour le calcul de ce coefficient, on considère qu'il est égal au rapport de la matière organique fraîche à la teneur en carbone du sol à l'équilibre ($r = M/C$). Les résultats (Tableau VI) ne diffèrent guère, dans leurs proportions relatives, de ceux obtenus avec la méthode précédente et l'on peut en tirer les mêmes conclusions.

L'étude du bilan de la matière organique fait donc

apparaître que son niveau dans le sol dépend, comme partout ailleurs, du degré d'évolution de l'écosystème, des caractères du sol et de la végétation. C'est ainsi que l'on pourra observer un sol riche en matière organique en versant sud, s'il y a production d'une litière résistante et abondante (gispet). Inversement, certains sols de combes à neige de versant nord présenteront un taux de matière organique relativement bas, associé à la production d'une litière peu abondante et surtout facilement dégradable (saule nain). Il y a là un reflet de la complexité biologique de la mosaïque alpine.

CONCLUSION

La matière organique des sols alpins présente un rapport C/N bas (à peine supérieur à 10) et une humification relativement bonne, l'ensemble de ces propriétés étant lié à la nature herbacée des débris végétaux. En effet, la dégradation de ces derniers est plus sensible à leur composition chimique qu'aux conditions stationnelles, pourtant variées. Il existe,

par ailleurs, une compensation factorielle milieu — résistance des litières, la végétation des stations froides fournissant des débris particulièrement labiles.

Ces observations sont valables pour des stations subissant actuellement une charge pastorale relativement importante mais naturellement modulée en fonction des qualités fourragères des pelouses. Ce fait étant pris en considération, on peut essayer de prévoir l'évolution du « bilan d'organo-masse » dans l'optique de l'abandon du pâturage.

Les stations de versant sud, à groupements végétaux de type oro-méditerranéen (gispetière), producteurs de fourrage à faible palatabilité, sont peu pâturées à l'étage alpin : les innovations sont déjà coriaces lorsque les moutons les atteignent, après avoir épuisé les pelouses subalpines. L'abandon du pâturage ne devrait avoir qu'un effet minime, sinon favoriser les espèces consommables.

Il n'en est pas de même en versant nord, où l'on devrait observer une augmentation de la phytomasse aérienne (et de la litière), répercutée sur la phytomasse racinaire. Cependant, nous avons vu que les débris végétaux de ces pelouses sont aisément dégradables et les perturbations, au niveau du sol, devraient être minimes. Par contre l'augmentation des litières hivernales pourrait avoir des conséquences mécaniques extrêmement importantes mais qui sortent du cadre de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- ARISTOVSKAYA (T.V.) et PARINKINA (O.M.), 1971. — Preliminary results of the I.B.P. studies of soil micro-biology in tundra. *Tundra Biome Proceedings. IV. Intern. meeting on the biological productivity*, 80-92.
- BILLES (G.), CORTEZ (J.) et LOSSAINT (P.), 1971. — L'activité biologique des sols dans les écosystèmes méditerranéens. I. — Minéralisation de l'azote. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*; 8, 375-395.
- BLACK (C.A.), édit. 1965. — *Methods of soil analysis. Amer. Soc. of Agron., Madison (Wisc.) U.S.A.*, 1572 p.
- BLISS (L.C.), 1962. — Adaptations of arctic and alpine plants to environmental conditions. *Arctic*, 15, 117-144.
- DOMMERGUES (Y) et MANGENOT (F.), 1970. — Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie édit., Paris, 796 p.
- DUVIGNEAUD (P.), 1974. — La synthèse écologique. Doin édit. 296 p.
- HILGER (F.), 1963. — Activité respiratoire des sols équatoriaux. Application de la méthode respirométrique in situ. *Bull. Inst. Agr. Stat. Rech. Gembloux*, 31, 154-182.
- JENKINSON (D.S.), 1965. — Decomposition of labelled material in soil. In *Experimental pedology*. Hallsworth et Crawford edit., Londres, 199-207.
- LABROUE (L.) et LASCOMBES (G.), 1971. — Minéralisation de l'azote organique dans les sols alpins du Pic du Midi de Bigorre. *Oecol. Plant.*, 6, 247-270.
- LABROUE (L.) et LASCOMBES (G.), 1972. — L'évolution de la végétation et des sols au Pic du Midi de Bigorre. L'étage alpin supérieur. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 108, 9-39.
- LABROUE (L.) et LASCOMBES (G.), 1975. — L'activité cellulolytique dans les sols de quelques stations de l'étage alpin du Pic du Midi de Bigorre (Hautes-Pyrénées). *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 12, 181-192.
- LABROUE (L.) et ROUGE (P.), 1975. — Sur l'humification dans les sols alpins. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. Paris. 281, série D., 243-246.
- LABROUE (L.), 1976. — Etude écologique des sols alpins du Pic du Midi de Bigorre. *Thèse Doct. Sc. Nat., Fac. des Sciences, Toulouse*. 230 p.
- OLSON (J.S.), 1963. — Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44, 322-331.
- SCOTT (D.) et BILLING (W.D.), 1964. — Effects of environmental factors on standing crops and productivity of an alpine tundra. *Ecol. Monog.*, 31, 1-29.
- TOSCA (C.), LABROUE (L.) et CARLES (J.), 1977. — Homogénéité floristique, hétérogénéité structurale et dynamique stationnelle dans divers groupements végétaux du Pic du Midi de Bigorre. *Soc. Bot. Fr. Séance du 18 mars 1977* (sous presse).

LA PÉDOGENÈSE A L'ÉTAGE ALPIN RELATION AVEC L'ÉVOLUTION DES VERSANTS

par L. LABROUE et C. TOSCA
*Laboratoire d'Ecologie Végétale, Toulouse III,
31077 Toulouse Cedex*

RÉSUMÉ

La pédogenèse alpine est dominée par une intense désagrégation mécanique, liée aux alternances de gel-dégel, tandis qu'une altération chimique sélective agit faiblement, en liaison avec l'activité chélatrice de la matière organique du sol. L'étude de quelques toposéquences montre que les propriétés physiques du sol jouent un rôle important dans la différenciation et l'évolution des écosystèmes alpins.

A l'étage alpin, les conditions mésologiques sont proches des limites au-delà desquelles l'existence d'une couverture végétale continue n'est plus possible. Dans le domaine périglaciaire, les phénomènes géomorphologiques rendent précaire l'équilibre des écosystèmes. Leur existence est liée au maintien d'un haut niveau d'intégration entre les divers éléments qui les constituent. De ce fait, l'analyse de l'un de ces éléments ne peut se concevoir indépendamment de ses relations avec tous les autres. En particulier, la genèse et les propriétés des sols sont étroitement liées aux caractéristiques stationnelles, ce qui pose le problème de leur évolution et de l'existence d'un climax « climatique » (DUCHAUFOUR, 1966). Dans cet article nous essayons de montrer quelques aspects essentiels de la formation des sols et de son influence sur la dynamique des écosystèmes alpins du Pic du Midi de Bigorre.

SUMMARY

Alpine soil forming processes are dominated by intense mechanical desintegration, linked to freeze-thaw cycles, while selective chemical alteration weakly operates, which depends upon chelative activity of soil organic matter. Study of some toposequences indicates that physical properties of soils play a prominent rôle in differentiating and promoting evolution of alpine ecosystems.

LE CADRE BIOGÉOGRAPHIQUE

Le Pic du Midi de Bigorre est situé au Nord-Ouest des Pyrénées Centrales, à environ 130 km de l'Océan Atlantique et 220 km de la Méditerranée. Avec ses 2 870 m d'altitude, c'est le plus élevé des hauts sommets qui jalonnent la bordure Nord de la zone axiale, entre Gaves et Nestes.

Nous avons considéré l'étage alpin comme « l'ensemble des stations où les conditions micro-climatiques ne permettent plus la croissance des phanérophytes », c'est-à-dire l'étage des pelouses naturelles. Au Pic, les buissons subalpins ne pénètrent plus dans les pelouses à partir de 2 400 m d'altitude, se cantonnant alors sur les rochers. On peut admettre

cette altitude comme limite inférieure de l'étage alpin, à l'échelle biogéographique.

L'évolution altitudinale de la végétation à l'intérieur de l'étage ainsi défini nous a suggéré une subdivision en deux sous-étages comme l'ont fait GUINCHET (1938) et OZENDA (1966) dans les Alpes du Sud, puis NEGRE (1969, 1970) dans les Pyrénées Centrales. Les pelouses à Gispet (*Festuca eskia*) et Laïche toujours verte (*Carex sempervirens*) peuvent caractériser l'étage alpin inférieur. Elles disparaissent vers 2 700 m d'altitude en versant nord et atteignent 2 800 m en versant sud. Cela laisse peu de place aux pelouses à Laïche courbée (*Carex curvula*) qui définissent, ici, l'étage alpin supérieur.

LES FACTEURS DE FORMATION DES SOLS

1. — LE CLIMAT ET LE PÉDOCLIMAT.

Le climat de l'étage alpin du Pic du Midi est froid et humide, comme le montre le diagramme ombrothermique (BAGNOULS et GAUSSEN, 1953) de la figure 1. Une période de *gel continu* suspend l'activité physico-chimique ou biologique pendant 7 à 8 mois. L'intensité de ce gel dépend de la protection offerte par la couche de neige recouvrant la station. C'est ainsi que la température du sol varie de -6°C à -20°C en surface, selon l'épaisseur de cette couche. En profondeur elle n'est pas inférieure à -4°C .

Les cycles de gel-dégel constituent un facteur essentiel de l'altération physique des roches : au cours de l'année 1967, nous en avons compté 123, ce qui est très proche des 120 enregistrés en 1952 par GALIBERT (in PEGUY, 1970).

Pendant la période estivale, climat stationnel et pédo-climat superficiel sont conditionnés par l'exposition. En effet, l'importance de la radiation directe et la raréfaction de l'atmosphère, liée à l'altitude, permettent une expression maximale, pour la bio-

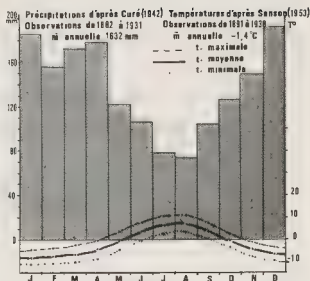


FIG. 1. — Diagramme ombrothermique du sommet du Pic du Midi de Bigorre.

sphère, des contrastes radiatifs et thermiques (VIGNES *et al.*, 1975). C'est ainsi que les surfaces rocheuses peuvent atteindre des températures dépassant de plusieurs dizaines de degrés celles de l'air. Au niveau de la surface des sols ou des plantes, les écarts sont atténués mais peuvent être encore importants. Par contre, ils disparaissent rapidement dans les horizons profonds des sols (fig. 2).

L'importance de la radiation directe est encore à l'origine de l'augmentation considérable des alternances diurnes de gel-dégel que l'on observe dans les zones ensoleillées. Ce phénomène annonce l'une des caractéristiques du climat alpin des basses latitudes.

Enfin l'humidité générale du climat est extraordinairement modulée au niveau stationnel soit par le modelé des versants, soit par les propriétés intrinsèques des sols. En effet, la couche de neige persistant au sol après chaque chute dépend de la topographie et de l'orientation, par rapport aux vents dominants, de la station. Cette couche de neige détermine l'importance de la percolation au travers du sol sous-jacent et, dans une large mesure, son climat hydrique.

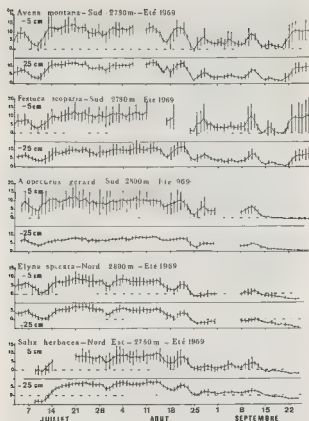


FIG. 2. — Evolution estivale de profils thermiques dans quelques stations de l'étage alpin du Pic du Midi de Bigorre

2. — LA ROCHE-MÈRE.

Le Pic est un massif calcaire d'âge coblentzien (Dévonien inférieur). Les calcschistes métamorphiques y dominent. Ils se présentent en plaques ou plaquettes, évoluant parfois vers de véritables bancs de cipolin.

La sensibilité au gel des calcschistes favorise l'altération physique et permet la dispersion de poussières calcaires issues de la gélifraction. Ces poussières contaminent toutes les surfaces environnant les affleurements rocheux.

L'importance du résidu silicaté, laissé par la dissolution de la calcite, permet la formation rapide d'un matériau plus ou moins terreux, susceptible d'être colonisé par une végétation dense.

3. — LA VÉGÉTATION

La diversité des climats radiatifs dont bénéficient les versants en général, et les stations en particulier, se traduit dans la végétation. A la base de l'étage alpin, les zones fortement ensoleillées sont colonisées par des espèces de souche oro-méditerranéenne, d'aspect xérique et à enracinement profond. Les zones d'ombre, au contraire, sont souvent colonisées par des espèces de souche nordique, à enracinement superficiel. Enfin les espèces d'origine alpine, à enracinement variable, sont indifférentes à l'exposition et dominant plus ou moins, en fonction de la concurrence.

En dépit de leur aspect xérique, la productivité des espèces oro-méditerranéennes peut être élevée lorsque la pelouse est suffisamment dense (plus de 600 g de matière sèche par m²). Inversement, la productivité des pelouses de type alpin ou arctico-alpin, pourtant fermées, dépasse rarement 200 g de matière sèche par m², comme celle de leurs homologues arctiques.

Toute cette végétation est de type herbacé mais l'on peut observer des différences importantes dans la composition chimique des diverses espèces. Les graminées et cypéracées laissent, en automne, des résidus pauvres en protéines et leurs racines sont particulièrement riches en lignines. Cependant les espèces « améliorantes » qui les accompagnent compensent plus ou moins ces mauvaises propriétés, sauf dans les pelouses où le gispet est par trop exubérant.

L'enracinement puissant des fétuques oro-méditerranéennes a pour conséquence une incorporation profonde de la matière organique et un certain « iso-humisme » des profils de sols. Inversement, les espèces alpines et surtout arctico-alpines montrent un enracinement dense mais superficiel, favorisant la concentration de la matière organique dans les horizons supérieurs. De la sorte, sols et végétation concourent à donner aux versants sud un aspect « steppique » et aux versants nord l'allure de la « toundra » nordique.

4. — LA TOPOGRAPHIE : FORMES ET MICROFORMES.

Il est bien connu que la pente et la position topographique d'une station déterminent les potentialités de l'évolution des sols (concepts classiques du « catena » ou chaîne de sols, de sols azonaux, de climax stationnels, etc...).

D'autre part, dans le domaine péri-glaciaire, l'instabilité du substrat et les microformes qui en résultent, agissent sur la morphologie des profils. Les phénomènes de géliturbation (cliché a, planche I) et la gélifluxion (cliché b, planche I), sont particulièrement puissants dans les zones à permagel (Cryosols de FEDOROFF, 1966), et constituent un facteur écologique essentiel dans l'arctique (cf. revue de

BLISS, 1962). A l'étage alpin, les facteurs de l'environnement liés à la topographie générale restent déterminants (JOHNSON et BILLING, 1962) mais le modelé dépend, quand même, de phénomènes péri-glaciaires remaniant un héritage glaciaire. A une échelle croissante, les effets de la topographie peuvent être ainsi schématisés :

4.1. — *Effet de la typologie des versants.*

Le Pic affecte la forme d'une pyramide grossière dont les quatre arêtes principales sont à peu près orientées vers les points cardinaux.

On peut reconnaître à chacun de ces quatre versants une certaine originalité morphologique trouvant sa cause dans le climat local, lié à l'exposition. Leurs caractères sont résumés dans le tableau I.

TABLEAU I
Caractères pédogénétiques des versants.

Versants	Pente Moyenne	Alternances gel-dégel du sol et périodes d'occurrence	Enneigement	Gélifluxion	Ruissellement concentré
Nord-Ouest	45°	= celles de l'air (Mai-Juin ; Sept-Oct.)	Faible	Faible	Faible
Nord-Est	36°	Légèrement supérieure à celles de l'air (Mai-Juin ; Sept-Oct.)	Fort	Forte	Très faible
Sud-Est	45°	Très supérieures à celles de l'air (Mars-Juin ; Sept-Déc.)	Faible	Faible	Fort
Sud-Ouest	32°	Supérieures à celles de l'air (Avril-Juin ; Sept-Nov.)	Moyen	Moyenne	Moyen

4.2. — *Formes et microformes observées.*

Nous distinguerons les différentes formes et microformes en fonction de leur genèse.

4.2.1. *Formes liées à la gélifraction différentielle.* Ces formes concernent les zones de forte pente où les affleurements rocheux sont nombreux; elles sont bien représentées sur tous les versants du Pic. La nature des roches joue un rôle primordial dans la différenciation de ces formes :

— les calcschistes et schistes sériciteux, roches tendres, s'altèrent en un mélange peu mobile de blocs décimétriques et de plaquettes de toutes tailles, enrobées dans une bouillie terreuse dont les particules atteignent la finesse des limons. L'ensemble passe rapidement à des glaciais, de pente inférieure à 45°, qui évoluent parfois en replats.

— les bancs de cipolin, intercalés dans les calcschistes, sont au contraire des roches spathiques dures. Ils sont à l'origine des corniches qui alimentent

des canaux d'éboulis, de pente supérieure à 45°. Ce sont des éboulis mobiles (cliché c, planche I), qui passent à des cônes de pente inférieure, évoluant, eux aussi, vers des glaciés.

— les filons de *diabase labradorique*, encore plus résistants, sont à l'origine des *pinacles* qui accidentent les crêtes dont ils constituent l'armature.

4.2.2. *Microformes liées à la géliturbation*: *sols en gradins*. Elles sont essentiellement représentées par les sols structuraux de pente, *sols en gradins* (cliché d, planche I) ou *banquettes gazonnées* dont les plus typiques sont colonisées par le Gispel (*Festuca eskia*).

La corrélation entre la présence des fétuques thermophiles dures et piquantes (*Festuca eskia*, *Festuca scoparia*, *Festuca durissima*), et la netteté des gradins qu'elles colonisent, ne peut que suggérer l'existence d'une relation de cause à effet.

Toutes les fétuques incriminées ont une *croissance centrifuge* produisant des touffes en « atolls » sur les surfaces horizontales (Cf. GAUSSEN, 1926; planche XXXI). Sur les pentes, la compression et l'ensevelissement par l'amont n'autorisent qu'une croissance latérale, aboutissant à la formation de guirlandes plus ou moins nettes. Ce mode de colonisation qui abandonne, après la mort des vieilles pousses, des plages de sol nu, est évidemment favorable à la cryoturbation (cliché e, planche I).

4.2.3. *Formes et microformes liées à la gélifluxion*: *loupes et bourrelets*. Tous les matériaux riches en éléments colloïdaux sont sensibles à la solifluxion. Les formes qui en résultent sont les *loupes* et *bourrelets* de gélifluxion *entravée*, fréquentes en versants nord, et les *coulées de blocaille*, plus rares, qu'on peut observer sur le versant sud-ouest.

Les bourrelets les plus typiques sont associés à une végétation de laiche courbée et de saules nains, sans que ces derniers soient toujours capables d'éviter les arrachements (cliché b, planche I), malgré leur port en espalier.

4.2.4. *Microformes liées au ruissellement*. Il s'agit de gradins allongés dans le sens de la pente que FRODIN (1926) comparait à des « torrents de gra-

viers ». Ils résultent, apparemment, de la fixation par une végétation lithophile de débris non classés, transitant sur des fortes pentes sous l'action d'un ruissellement printanier important. Leur aspect (cliché f, planche I) n'est pas sans rappeler les sols *pseudostriés*, décrits par GABERT et al., (1971).

Le ruissellement diffus agit aussi probablement au niveau des *sols en « guirlandes »*, aspect un peu particulier des sols en gradins. Cet aspect ne s'observe que sur les versants sud, où la fonte des neiges est plus brutale.

4.2.5. *Microformes liées à l'action du bétail*. Le rôle du bétail dans l'accentuation des gradins et leur disposition en courbes de niveau a été invoqué par GAUSSEN (1926-1971). Le piétinement transversal conjuguait ses effets avec ceux de la géliturbation.

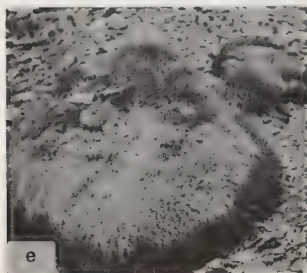
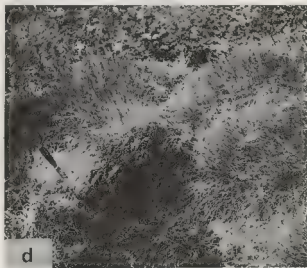
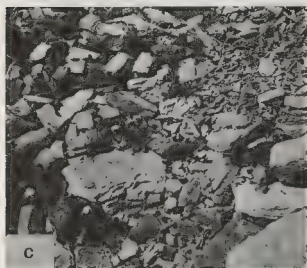
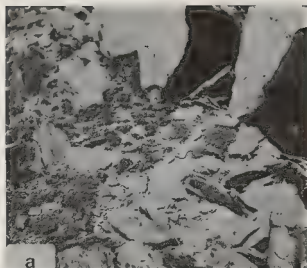
4.3. Rôle des phénomènes périglaciaires et du modelé des versants dans la formation des sols.

On peut distinguer une action directe, au niveau des éléments du profil, et une action indirecte, sur les conditions de milieu.

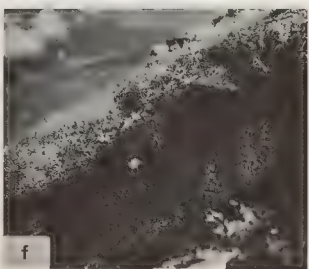
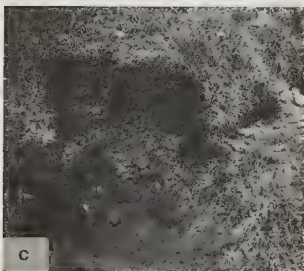
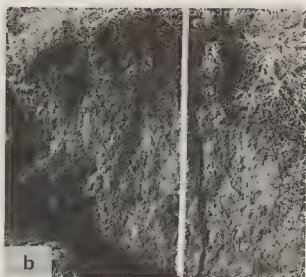
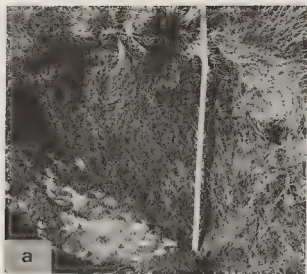
4.3.1. *Action directe*. La gélifraction est un facteur puissant d'altération physique. Son action cesse au niveau des fractions sables fins ou limons grossiers (particules de 20 – 50 μ de diamètre), de sorte que ces éléments s'accumulent dans les horizons inférieurs (voir plus loin).

La géliturbation ne semble avoir qu'une action minime sur les profils pédologiques. Même dans les plus humides (combes à neige), les horizons sont nettement délimités, contrairement à ce que l'on observe dans l'Arctique, sur pergélisol (DREW et TEDROW, 1962). De même, l'évolution des propriétés physico-chimiques avec la profondeur montre que les remaniements internes sont faibles ou nuls.

Par contre, les phénomènes périglaciaires se traduisent par une *différenciation des profils dans l'espace*. C'est ainsi que chaque gradin constitue une unité pédologique évidente dans laquelle on peut encore observer une hétérogénéité longitudinale de détail.



Cl. L. LABROUE



organique s'amorce (sol cryptopodzolique humifère) et obscurcit les horizons profonds.

Le lithosol calcaire à mor ou à mor calcique, décrit par GILOT (1967) sur calcaire urgonien, est exceptionnel au Pic. Quant au podzol alpin il semble qu'il soit inconnu aux Pyrénées, ainsi que les sols lessivés. L'évolution des profils à partir des milieux les plus secs, tels les crêtes rocheuses (xerosère), ou des milieux les plus humides, comme les niches de nivation (hygrosère), aboutit, du moins au Pic, à des sols de type *cryptopodzolique* (fig. 4).

1.2. Texture et nature minéralogique des argiles.

A l'exception des sols de combe, les sols alpins du Pic sont des sols « squelettiques » : la terre fine (particules de moins de 2 mm de diamètre) y constitue rarement plus de la moitié de la masse totale de la couche meuble.

Les caractères texturaux des sols alpins du Pic (diagramme de WIEGNER de la figure 5) apparaissent nettement, en particulier à l'étage alpin supérieur : la formation d'argiles semble localisée dans les horizons superficiels organiques, les horizons inférieurs conservant une texture limono-sableuse.

Nous avons constaté ce phénomène (LABROUE, 1962), déjà observé par COSTIN (1952), en Australie, et par RETZER (1956), dans les Rocheuses. On peut l'attribuer à une hydrolyse plus active, liée aux températures relativement élevées des horizons de surface; mais nous verrons que le comportement de l'aluminium suggère qu'il s'agit, plutôt, d'une conséquence de l'activité chélatrice, liée à l'abondance de la matière organique.

Les diagrammes de diffraction aux rayons X, effectués au laboratoire de Minéralogie de l'Université Paul Sabatier, montrent que la fraction argile est essentiellement constituée de *muscovite peu altérée*, accompagnée de *chlorite primaire* et de *quartz fin*. Cette composition est analogue à celle donnée par ALIMEN et CAILLÈRE (1964), pour les dépôts post-Wurmien du lac de Payolle, situé à l'est du Pic.

Aucune migration d'argile n'est déductible de ces résultats, ce qui rejoint les observations de BOTTNER

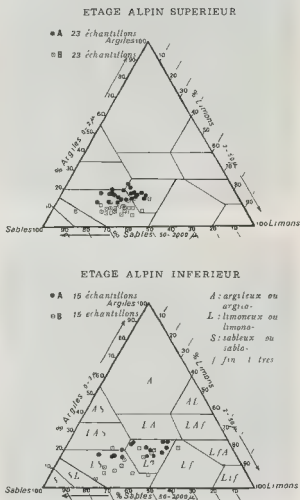


FIG 5. — Diagramme des textures des sols de l'étage alpin du Pic du Midi de Bigorre (Classes d'après BALDWIN, U.S.D.A., 1948).

(1971) pour qui ce phénomène est réservé aux sols forestiers. Sous la pelouse alpine, même les sols podzoliques ne montrent pas de lessivage d'argile (DUCHAUFOUR et GILOT, 1966).

Les fractions « limons grossiers » et surtout « sables fins » dominent dans tous les profils, mais particulièrement dans ceux de l'étage alpin supérieur. Ces fractions représentent la limite de l'efficacité de l'altération physique, liée aux alternances de gel-dégel; elles ont donc tendance à s'accumuler lorsque l'altération chimique est faible, en particulier dans les horizons inférieurs de nos sols.

1.3. Porosité et structure des sols alpins.

Les résultats de l'étude (Tableau II) montrent que tous les sols ont une porosité totale très convenable et, surtout, une forte macroporosité. Dans les sols développés sur les débris ou éboulis fixés (stations à *Avena montana*, à *Festuca scoparia*, à *Festuca eskia*), le squelette grossier est, en partie, à l'origine de cette porosité. La densité réelle supérieure à 2,0 malgré la présence de matière organique, le confirme. Ailleurs, il faut envisager la présence de débris organiques grossiers et, surtout, la formation d'une structure grumeleuse liée à la rhizosphère. Cette structure, qui n'existe qu'en place (voir plus loin), est fragile mais efficace.

La microporosité, relativement faible, correspond à l'humidité des échantillons à la capacité au champ, donc à un pF de l'eau de l'ordre de 2,0.

TABLEAU II
Densité et porosité des sols alpins.

Stations et horizons	Densité apparente	Densité réelle	Porosité totale %	Macroporosité %	Microporosité %
<i>Avena montana</i> 0 - 10 cm	0,73	2,26	67	43	24
<i>Festuca scoparia</i> 0 - 10 cm	0,97	2,49	62	42	20
<i>F. eskia</i> - <i>Helianthemum</i> 0 - 10 cm	0,71	2,21	68	41	27
<i>F. eskia</i> - <i>Trifolium</i> 0 - 10 cm	0,50	1,47	66	38	28
<i>Elyna spicata</i> 0 - 10 cm	0,79	2,19	64	25	39
<i>Carex curvula</i> 0 - 10 cm	0,65	1,71	62	26	36
10 cm - 20 cm	0,96	2,46	61	28	33
<i>Plantago alpina</i> 0 - 10 cm	0,50	1,53	67	31	36
10 cm - 20 cm	0,98	2,44	60	26	34
<i>Salix retusa</i> 0 - 10 cm	1,06	2,35	55	26	29

Presque tous ces sols sont *dépourvus de structure stable* : les quelques grumeaux qui persistent lors du prélèvement des échantillons se désagrègent au contact des doigts. La structure en gros agrégats nuciformes, qui apparaît « in situ » sur le profil, n'est donc pas liée à la formation d'un complexe argilo-humique. Elle ne peut être due qu'à l'enracinement dense de la pelouse alpine ou à l'action des hyphes fongiques.

2. PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

Nous n'étudierons que les constituants minéraux, issus de la roche-mère, la matière organique, résultat de l'activité biologique globale de l'écosystème, faisant l'objet d'une étude séparée (LABROUE et TOSCA, 1977).

Les constituants minéraux dont l'évolution caractérise le mieux la pédogenèse sont la silice, le calcaire, le fer et l'aluminium. La dissolution de la silice, en climat froid, est lente et les sols étudiés peu âgés. C'est donc un élément insuffisamment sensible pour analyser la pédogenèse alpine. Par contre, l'étude de l'évolution du calcaire, de l'aluminium et, à un degré moindre, du fer s'est révélée pleine d'enseignements.

2.1. Le calcaire, le fer et l'aluminium.

Les sols étudiés sont toujours humifères, propriété qui exclut la plupart des techniques d'analyse classiques. Nous avons utilisé les méthodes qui nous ont paru le moins criticables.

Méthodes d'analyse. Le calcaire total a été dosé au calcimètre Bernard et le calcaire « actif » suivant la méthode de DUPUIS, (1966). Les teneurs en fer « libre » ont été obtenues après une extraction au tampon citrate-dithionite de Jackson, le fer étant dosé à l'orthophénanthroline d'après OLSON (in BLACK, 1965).

L'aluminium « libre » a été extrait selon DUCHAUFOUR et SOUCHIER (1966) après destruction préalable de la matière organique. Le dosage, après miné-

realisation, a été d'abord effectué par colorimétrie à l'ériochrome-cyanine (JONES et THURMAN, 1958), et sa validité confirmée par spectrophotométrie d'absorption atomique. L'aluminium échangeable a été extrait par CIK (N) (LIN et COLEMAN, 1960; PRATT et BAIR, 1961) et dosé par colorimétrie.

Résultats. (Tableau III). Si l'on excepte les rendzines initiales, le calcaire n'est jamais très abon-

TABLEAU III

Evolution des teneurs moyennes en calcaire total, calcaire actif, fer libre, aluminium libre et échangeable dans les sols alpins du Pic du Midi de Bigorre au cours de la pédogenèse.

(1) Résultats exprimés en fonction de la terre fine totale (tamisée à 2 mm) et séchée à 105 °C.

(2) Résultats exprimés en fonction de la terre fine minérale (débarassée de la matière organique) et séchée à 105 °C.

Types de sols	Horizons	CO ₂ Ca tot. en % (1)	CO ₂ Ca act en % (1)	Fer lib. en % (2)	Al. lib. en % (2)	Al. éch. en ppm (1)
Rendzines initiales (7 profils)	Ah	23	3,4	12,0	3,2	0
Rendzines typiques (11 profils)	Ah ₁	10	1,9	15,1	6,2	0
	Ah ₂	9	1,1	16,2	5,6	0
Rendzines brunifiées (7 profils)	Ah ₁	1	0	17,1	9,0	0
	Ah ₂	1	0	18,9	7,4	0
Sols litho-calcaïques (5 profils)	Ah ₁	0	0	17,7	11,7	0
	Ah ₂	0	0	19,2	9,8	0
	Ah/C	0	0	16,4	7,0	0
Sols bruns Calcaires (3 profils)	Ah	11	2,7	16,5	6,8	0
	Ah (B)	3	0	18,0	6,1	0
	(B)/C	5	0,6	18,6	4,1	0
Sols bruns (4 profils)	Ah	0	0	22,0	12,1	0
	Ah (B)	0	0	22,5	8,9	0
	(B)	0	0	23,3	6,7	0
Sols crypto-podzoliques (3 profils)	Ah	0	0	22,6	11,0	11
	ABh	0	0	23,1	14,1	39

dant. Il disparaît rapidement sous l'action conjuguée des eaux froides riches en acide carbonique, et de la matière organique. Paradoxalement, il persiste plus longtemps en surface qu'en profondeur, grâce à l'apport de poussières calcaires. Ces dernières sont issues de la gélifraction des affleurements rocheux environnants. On n'observe pas le « front de décarbonatation » décrit par BOTTNER (1972) dans son étude des préalpes calcaires où il avait affaire à de véritables karsts.

Le fer libre atteint rapidement un maximum dès que le calcaire est complètement dissous. De ce fait, il semble être en grande partie libéré directement sous forme d'hydroxydes, ce qui enlève beaucoup d'intérêt au rapport Fer libre / Fer total en tant qu'indice d'altération. Sa migration est toujours peu importante, même dans les profils acides. Ceci s'explique par le fait que durant la période favorable d'anaérobiose vernale, la migration est pratiquement nulle dans les combes et oblique sur les pentes.

L'aluminium libre est relativement abondant pour des sols peu développés et peu acides (LABROUE et LASCOMBES, 1970; LABROUE, 1971). Toutefois, la vermiculisation des argiles est peu marquée comme le révèle l'examen des diagrammes de diffraction aux rayons X. Ces constatations rejoignent celles de NIMLOS et Mc CONNEL (1965) pour les sols alpins du Montana. On peut admettre une libération sélective par chélation de l'aluminium des silicates les plus fragiles, en particulier des plagioclases calciques qui peuvent même fournir de la gibbsite en climat tempéré (DEJOU *et al.*, 1970). Plus récemment, ROBERT et RAZZAGHE-KARIMI (1975) ont mis en évidence le rôle destructif des acides di- et tricarboxyliques et, à un degré moindre, de l'acide quinique sur le micaphlogopite. Or, nous avons montré (LABROUE *et al.*, 1973) l'importance des acides citrique, malique et quinique dans les sols alpins, même calcaires. On conçoit que la teneur en aluminium libre croisse avec l'ancienneté mais aussi avec la teneur en matière organique des horizons.

D'autre part, l'aluminium séquestré n'entre pas dans la synthèse des minéraux secondaires et reste facilement extractible par les réactifs complexants.

D'après nos observations, l'aluminium semble commencer sa migration à des pH inférieurs à 6,0. Aux environs de pH 5,5 et avec une désaturation du complexe absorbant toujours inférieure à 60 %, apparaissent les premières traces d'aluminium échangeable. Ce résultat est tout à fait conforme aux observations de BLANCHET *et al.*, (1960), JUSTE et HAMADI (1963), sur des sols de plaine.

2.2. pH et complexe d'échange.

Les mesures de pH ont été effectuées dans l'eau avec un rapport terre/eau de 1/2,5; les pH des sols calcaires n'ont qu'une valeur indicative. La capacité d'échange a été déterminée selon la méthode proposée par DUCHAUFOUR (1970) pour les sols humifères : saturation par Cl_2Ca tamponné à pH 7,0 et extraction par ClNa (2N). Afin d'obtenir un taux de saturation significatif, nous avons extrait pareillement les bases échangeables par ClNa (2N) selon CLARK (1965). La méthode est parfaitement reproductible et applicable à tous les sols, calcaires ou non. Parmi les cations Ca et Mg ont été dosés par complexométrique et par absorption atomique. Le potassium a été dosé par photométrie à émission de flamme.

L'ambiance calcaire fait que les capacités d'échange sont généralement saturées et les pH supérieurs à 7,0. On peut exceptionnellement rencontrer des pH inférieurs à 5,5 (fig. 6); les pH supérieurs à 7,0 liés à la présence de carbonate de calcium dans la terre fine, sont plus fréquents en surface qu'en profondeur en raison des apports de débris calcaires du cryoclastisme dont nous avons parlé.

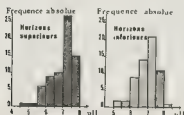


FIG. 6. — Histogramme de fréquence des pH

La capacité d'échange (fig. 7), essentiellement fonction de l'abondance de la matière organique, peut être très élevée en surface (sols lithocalcaires humifères). Au cours de l'évolution, la désaturation du complexe absorbant procède lentement malgré le type fortement éluvial de la pédogenèse; elle est vraisemblablement freinée par l'environnement calcaire. De même, les sols contenant de l'aluminium échangeable n'occupent, sur calcaire, que des surfaces limitées. Le calcium domine largement parmi les bases échangeables. Les teneurs en magnésium varient de 0,13 à 1,81 m.e. pour 100 grammes de sol dans les horizons supérieurs et de 0,045 à 0,346 m.e. dans les horizons inférieurs. Les teneurs en potassium échangeable sont de 0,16 à 1,86 m.e. pour 100 g en surface et de 0,03 à 0,80 en profondeur.

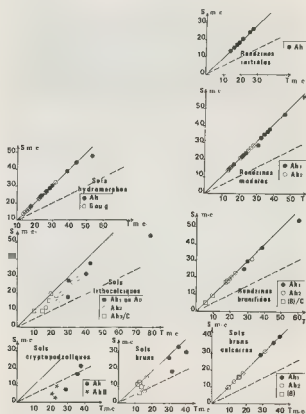


FIG. 7. — Capacité d'échange (T) et bases échangeables (S) des divers horizons des profils étudiés (en milli-équivalents pour 100 g de terre sèche).

La nature organique du complexe absorbant se reflète dans les relations entre le pH et le taux de saturation. Dans les horizons supérieurs, la désaturation est toujours relativement faible, même lorsque les pH sont bas (fonctions carboxyliques dissociées). C'est l'inverse dans les horizons inférieurs, moins organiques, dont les teneurs en Al échangeable sont aussi plus élevées.

Parmi les anions, le phosphore assimilable est relativement important puisqu'il varie de 17 à 100 ppm, (extraction selon DUCHAUFOUR, 1970).

PÉDOGENÈSE ET ÉVOLUTION DES VERSANTS

Le sol évolue continuellement et de manière évidente, du rocher à la pelouse. Au cours de ces transformations la *stabilité du substrat se modifie*. Une structure stable (rocher) aboutit à une autre structure relativement stable (pelouse), en passant par des structures plus ou moins mobiles (éboulis, débris).

L'évolution texturale modifie les rapports matière minérale/air/eau et, par là même, le pédoclimat, fortement lié à la capacité et à la conductivité thermique des profils.

En milieu périglaciaire, l'évolution des sols s'accompagne d'une *évolution topographique* qui modifie le fonctionnement de l'écosystème. Par exemple, le passage de l'éboulis de forte pente au glaciaire de pente plus faible va changer les conditions d'enneigement et d'éclairement, donc le micro-climat. Si l'on admettait que l'évolution générale des versants se fait vers un profil d'équilibre de pente particulièrement faible en climat périglaciaire (moins de 5°), l'opposition entre les versants devrait disparaître (équiplanation).

Sur roche calcaire, l'évolution texturale des profils entraîne une *modification des propriétés chimiques*. La libération d'éléments fins aux dépens d'éléments grossiers s'accompagne d'une diminution de la

réserve calcaire consécutive à la dissolution des carbonates.

Enfin, sur la haute montagne de la zone tempérée, les plantes alpines sont naines et la température du sol influe grandement sur celle de l'air environnant les organes aériens. *Le pédoclimat détermine en grande partie le phytoclimat* et il s'établit ainsi une interférence sol-climat au niveau du micro-climat végétal.

Une illustration de cette évolution conjointe sol-végétation peut être fournie par l'étude de toposéquences de l'étage alpin, représentatives, les unes des conditions de versant sud, les autres des conditions de versant nord, (LABROUE et LASCOMBES, 1970, 1972).

La connaissance des facteurs édaphiques, acquise au cours de cette étude permet de classer, sur une base écologique, les groupements végétaux et de les situer dans le cadre de la dynamique des versants. C'est ce que nous avons fait schématiquement pour l'étage alpin inférieur (Fig. 8 a) et pour l'étage alpin supérieur (Fig. 8 b).

Le problème se pose alors de définir un groupement végétal climax, ou plus exactement, le climax climatique, puisque l'on peut considérer les groupements à évolution catastrophique (paroi, crêtes) comme des climax stationnels.

A l'étage alpin supérieur, on ne s'avance pas beaucoup en considérant que le groupement climatique sera dominé par *Carex curvula*, ssp. *eu-curvula*. Le *Gentiano-Caricetum*, décrit par NEGRE (1969) sur les aires convexes ou planes de la haute chaîne granitique, semble correspondre à ce climax climatique, en particulier sous ses formes les plus évoluées (sous-association *primuletosum* ou, sous-association *sibbaldietosum*). Toutes les espèces acidiphiles sont présentes et les espèces lithophiles ont disparu des faciès les plus évolués.

A l'étage alpin inférieur, la puissance compétitive de *Festuca eskia* pose un problème. Les groupements à gispet et Trèfle alpin sont-ils climaciques comme le pensent certains auteurs ? Nous ne le croyons pas et considérons la fétuque comme une espèce lithophile. Dans les Pyrénées orientales, BRAUN-BLANQUET

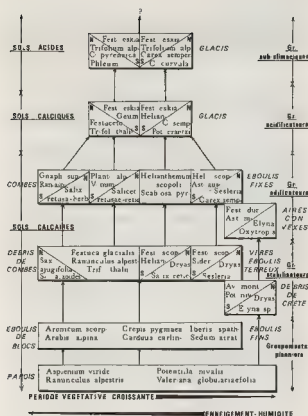


FIG. 8a. — Dynamique des groupements phytocologiques à l'étage alpin inférieur.

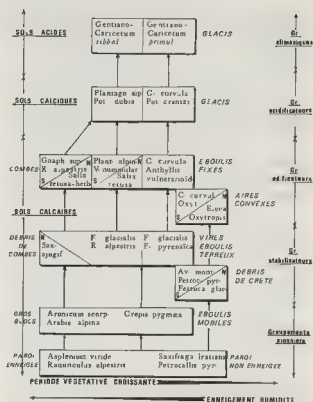


FIG. 8b. — Dynamique des groupements phytocologiques à l'étage alpin supérieur.

(1948) décrit les pelouses à gispet comme transitoires et, pour lui, les pelouses à *Festuca supina* (*Festucetum supinae*) représentent le climax de la base de l'étage alpin. GUINCHET (1938), FAVARGER (1962), OZENDA (1966) tiennent un raisonnement analogue sur les relations entre les pelouses à *Festuca varia* et celles à *Festuca halleri*.

L'analyse du *Gentiano-Caricetum curvulae*, étudié par NEGRE (1968, 1969) dans les Pyrénées centrales, montre que les pelouses de haute altitude sont dépourvues de trèfle alpin. Au contraire, celles qui en possèdent sont dans l'aire altitudinale du *Ranunculo-Festucetum eskiae*. Il y aurait donc deux faciès altitudinaux du *Gentiano-Caricetum*.

Il est possible que dans les zones de faible pente et surtout pauvres en éléments grossiers, le gispet soit relayé par la laiche courbée. La sous-association

« *ranunculetosum* » du « *Gentiano-Caricetum curvulae* » décrit par NEGRE, correspond peut être à un stade intermédiaire où *Festuca eskia* est encore bien représentée. Dans ces conditions, les pelouses à gispet et Trèfle alpin ne constitueraient que des groupements de « maturation » subclimaciques. Bien entendu, sur roche-mère siliceuse, il existe aussi des groupements à gispet stabilisateurs ou édificateurs, caractérisés par des espèces indicatrices spécifiques.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

LES SOLS ALPINS.

Bien que leurs températures soient nettement plus élevées que celles de l'air, les sols alpins sont des

sols froids : à la longue période de gel hivernal succède, presque sans transition, une période estivale au cours de laquelle les températures ne dépassent guère 10 °C en profondeur, quelle que soit l'exposition.

Du point de vue morphologique, les *profils de type AC ou AR* sont la règle mais cet aspect peut avoir des origines variées. Il peut s'agir de sols peu évolués sur éboulis fixés, de sols plus ou moins évolués sur roche dure (crête) et même de sols très évolués où la migration de la matière organique obscurcit un horizon (B) pré-existant.

Les sols du Pic ont une texture *sablo-limoneuse* en profondeur et *limoneuse* en surface, où se localise la synthèse d'argiles. Aucune migration de ces colloïdes n'a pu être mise en évidence. Il est vrai qu'il ne s'agit que de micas plus ou moins altérés.

Le calcaire fin est rapidement dissous sous l'action de la matière organique, mais il est fréquemment réalimenté dans les horizons superficiels, grâce à la micro-gélifraction qui affecte les affleurements rocheux voisins. Cette « ambiance » calcaire freine aussi la désaturation du *complexe absorbant*. Ce dernier est de *nature organique*, les sols contenant généralement plus de 10 % de matière organique (sols humifères).

On peut attribuer aux acides organiques complexes l'*altération* destructive qui libère des quantités importantes d'aluminium à partir des minéraux primaires. Cet aluminium commence à migrer en compagnie de ses vecteurs organiques (chéluviation) aux environs de pH = 6,0. La migration se poursuit à des pH inférieurs, accompagnée de celle de molécules plus importantes, tels les acides fulviques. On aboutit à une *cryptopodzolisation* car le fer, beaucoup plus visible, migre peu et de manière très localisée.

L'humus, représenté essentiellement par le moder-alpin, ne forme pas de complexe argilo-humique mais son rapport C/N est toujours bas et l'humification relativement bonne. La nature des débris végétaux, d'origine herbacée, explique à première vue ce résultat.

La floculation de cet humus est assurée par le calcium en présence de calcaire actif puis par l'aluminium dans les sols décarbonatés.

LES SOLS ET LA DYNAMIQUE DES VERSANTS.

Dans le cadre climatique général de l'étage alpin, le sol apparaît comme un facteur écologique d'une importance égale à celle de la durée d'enneigement. Il agit autant par ses propriétés physiques que par ses qualités trophiques. En effet, en milieu périglaciaire, la composition texturale du substrat et sa stabilité sont des facteurs hautement sélectifs. D'autre part, les plantes alpines étant naines, le pédoclimat détermine, en grande partie, le phytoclimat.

A partir de toposéquences bien choisies, il est possible d'étudier la succession spatio-temporelle des écosystèmes et d'en déduire, connaissant les relations sol-végétation, la dynamique générale des versants.

BIBLIOGRAPHIE

- ALIMEN (H.) et CAILLÈRE (S.), 1964. — Caractérisation des nappes quaternaires des Pyrénées de la Bigorre et du Béarn par leurs minéraux argileux et essai d'interprétation climatique. *Rev. Géog. Pyr. S. O.*, 35, 373-396.
- BAGNOULS (F.) et GAUSSEN (H.), 1953. — Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Toulouse*, 88, 193-239.
- BLACK (C.A.), édit., 1965. — Methods of soil analysis. *Amer. Soc. of Agron.*, Madison (Wisc.) U.S.A., 1572 p.
- BLANCHET (R.), PÉRIGAUD (S.), CHAUMONT (C.) et NADEAU (J.C.), 1960. — Acidité d'échange et aluminium libre ou échangeable des sols. *Ann. Agron.*, 11, 621-649.
- BLISS (L.C.), 1962. — Adaptations of arctic and alpine plants to environmental conditions. *Arctic*, 15, 117-144.

- BOTTNER (P.), 1971. — La pédogénèse sur roches-mères calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du Sud de la France. *Thèse Fac. Sci., Montpellier*, 271 p.
- BOTTNER (P.) et PAQUET (H.), 1972. — La pédogénèse sur roches-mères calcaires tendres dans les étages bioclimatiques montagnards, subalpin et alpin des Préalpes françaises du Sud. *Sci. Sol.*, 1, 63-78.
- BRAUN-BLANQUET (J.), 1948. — La végétation alpine des Pyrénées orientales. Etude de phytosociologie comparée. *Monog. Est. piren. y del Instit. esp. Edaf., Ecol. y Fisiol. veg.*, 9, 1-306, Barcelona.
- CLARK (J.S.), 1965. — The extraction of exchangeable cations from soils. *Can. J. Soil. Sci.*, 45, 311-322.
- DREW (J.) et TEDROW (J.C.F.), 1962. — Arctic soils classification and patterned ground. *Arctic*, 15, 109-116.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1966. — Le problème du climax et l'évolution des sols. *Oecol. Plant.*, 1, (2), 165-174.
- DUCHAUFOUR (Ph.) et GILLOT (J.C.), 1966. — Etude d'une chaîne de sols de l'étage alpin (col du Galibier) et ses relations avec la végétation. *Oecol. Plant.*, 1, 253-274.
- DUCHAUFOUR (Ph.) et SOUCHIER (B.), 1966. — Note sur une méthode d'extraction combinée de l'aluminium et du fer libre dans les sols. *Sc. Sol.*, 1, 17-29.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1970. — Précis de pédologie. Edit. Masson, Paris, 482 p.
- DUPUIS (J.) et DUPUIS (T.), 1966. — Technique nouvelle pour le dosage du calcaire actif dans les sols humifères par la méthode à l'oxalate d'ammonium. *Sc. Sol.*, 1, 31-37.
- FAVARGER (Cl.) et ROBERT (P.A.), 1962. — Flore et végétation des Alpes. Delachaux et Niestlé édit., Neuchâtel.
- FEDOROFF (N.), 1966. — Les cryosols. *Science du sol*, n° 2, 77-109.
- FRODIN (J.), 1926. — Les associations végétales des hauts pâturages pyrénéens. Etude sur leurs rapports avec les mouvements du sol dans les Pyrénées. *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*, 52, 21-54.
- GABERT (P.), FREY (F.), MAUDUY (N.) et MAUDUY (J.), 1971. — Quelques aspects des modèles supra-forestiers dans les flyschs des montagnes de l'Embrunais occidental. *Coll. interdiscip. mil. nat. supra-forest. mont. bass. médit.*, Perpignan, 71-87.
- GAUSSEN (H.), 1926. — Végétation de la moitié orientale des Pyrénées : Sol, Climat, Végétation. *Doc. Cart. Prod. Végét. Séries Pyrénées*, 1, 560 p.
- GAUSSEN (H.), 1971. — Les gradins de Gispert aux Pyrénées. *Col. interdiscip. mil. nat. supra-forest. mont. bass. médit.*, Perpignan, 65-70.
- GRIGG (R.F.), 1956. — Competition and succession on a Rocky Mountain fill field. *Ecology* 37, 8-20.
- GUINOCHE (M.), 1938. — Etudes sur la végétation de l'étage alpin dans le bassin supérieur de la Tinée (Alpes maritimes). *Thèse Fac. des Sciences.*, Bosc et Rion édit., Lyon, 458 p.
- JOHNSON (P.L.) et BILLING (W.D.), 1962. — The alpine vegetation of the beartooth plateau in relation to cryopedogenetic processes and pattern. *Ecol. Monogr.*, 32, 105-135.
- JONES (L.H.) et THURMAN (D.A.), 1958. — The determination of aluminium in soils, ash and plant materials using Eriochrome Cyanine R.A. *Plant and Soil*, 9, 131-142.
- JUSTE (C.) et HAMADI (M.), 1963. — Quelques observations relatives aux taux d'aluminium échangeable des sols de Touyas. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 10, 437-441.
- LABROUE (L.), 1962. — Végétation et sol au sommet du Pic du Midi de Bigorre. *Thèse Doct. 3^{me} cycle*, Toulouse, 91 p.
- LABROUE (L.) et LASCOMBES (G.), 1970. — L'évolution de la végétation et des sols au Pic du Midi de Bigorre. L'étage alpin inférieur en versant Sud. *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*, 106, 156-169.
- LABROUE (L.), 1971. — L'importance de l'alumine libre dans les sols neutres du Pic du Midi de Bigorre. Relation avec le phénomène de podzolisation. *C. R. Acad. Sc., Paris*, 273 (D), 615-618.
- LABROUE (L.) et LASCOMBES (G.), 1972. — L'évolution de la végétation et des sols au Pic du Midi de Bigorre. L'étage alpin supérieur. *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*, 108, 9-39.
- LABROUE (L.), ABRAVANEL (G.), LASCOMBES (G.) et CARLES (J.), 1973. — Sur la nature et l'importance des acides organiques hydrosolubles des sols alpins. *C. R. Acad. Sc., Paris*, 276 (D), 1817-1820.
- LABROUE (L.) et TOSCA (Cl.), 1977. — Dynamique de la matière organique dans les sols alpins. *Bull. Soc. Ecol.*, 8, 2.
- LIN (C.) et COLEMAN (N.T.), 1960. — The measurement of exchangeable aluminium in soils and clays. *Soils Sci. Soc. Am. Proc.*, 24, 444-446.
- NÈGRE (R.), 1968-1970. — La végétation du bassin de l'One (Pyrénées centrales). *Port. Acta. Biol.*, 1968, 9, 196-290; 1969, 10, 1-37; 1970, 11, 51-166.

- NÈGRE (R.), 1969. — Le *Gentiano-Caricetum curvulae* dans la région luchonnaise (Pyrénées centrales). *Vegetano*, 18, 167-202.
- NIMLOS (T.J.) et MACCONNEL (R.C.), 1965. — Alpine soils in Montana. *Soil Sci.*, 99, 310-322.
- OZENDA (P.), 1966. — Perspectives nouvelles pour l'étude de phyto-géographique des Alpes du Sud. *Doc. Carte Végét. Alpes*, IV, 191 p. Cartes.
- PÉGUY (Ch.), 1970. — Précis de climatologie. Masson et Cie. Paris, 468 p.
- PRATT (P.F.) et BAIR (F.L.), 1961. — A comparison of three reagents for the extraction of aluminium from soils. *Soil Sci.*, 91, 357-359.
- RETZER (J.L.), 1956. — Alpine soils of the Rocky mountains. *J. Soil Sci.*, 7, 1-32.
- ROBERT (M.) et RAZZAGHE-KARIMI (M.), 1975. — Mise en évidence de deux types d'évolution minéralogiques des micas triotaédriques en présence d'acides organiques hydrosolubles. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 280 (D), 2175-2178 et 2645-2648.
- VIGNES (D.), LABROUE (L.) et CARLES (J.), 1975. — Juxtaposition de climats radiatifs arctique et subtropical au Pic du Midi (Hautes-Pyrénées). *Bull. Soc. Hist. Nat.*, Toulouse, 101-111.

RECHERCHE DE SIGNATURES MYCOLOGIQUES DE DIVERS STADES DE L'INCULTURE PYRÉNÉENNE

par Jacques FAYRET, Jacques DARDENNE et Charles MONTANT

Laboratoire de Cryptogamie, Université Paul Sabatier, Toulouse III,
31077 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

Une signature mycologique de l'inculture pyrénéenne a été recherchée dans la mycoflore tellurique de sites choisis dans la région du Donezan, en relation avec différents degrés d'abandon des sols. Si la prédominance de certains Micromycètes (Fusarium, Trichoderma) peut être associée à des types de végétation (pelouse, lande à Calluna), les espèces fongiques identifiées sont surtout caractérisées par leur ubiquité. Une utilisation pratique de certaines souches isolées apparaît possible.

SUMMARY

Some sites of uncultivated lands, in Donezan country (Pyrenees), have been investigated about the telluric mycoflora in relation with the degree of soil abandonment. In spite of the dominance of Fusaria in pasture soil and Trichoderma in Calluna heath, the changes in fungal populations in these soils remain always very restricted. A practical use of some isolated strains seems possible.

Le projet initial qui a conduit à cette étude consistait à rechercher si les modifications de la végétation de surface, en fonction du degré d'abandon des sols, entraînait une évolution perceptible de la mycoflore du sol. A la limite, cette hypothèse de travail était susceptible de permettre l'identification, parmi les Micromycètes du sol, d'indicateurs des différents stades de l'inculture.

Ce programme de recherche pouvait trouver sa justification dans les travaux de MEYER (1954), THORNTON (1956, 1958, 1960), ORPOT et CURTIS (1957), qui avaient mis en évidence que la végétation de surface et les caractères du sol peuvent avoir un retentissement sur la constitution et la distribution de la population fongique. Des différences significatives ont été trouvées par THORNTON (1960) par l'analyse des espèces de champignons

obtenues en culture à partir de sols forestiers et de sols de pelouse.

I. — CHOIX DE STATIONS DE PRÉLÈVEMENT

La région qui a servi de support à cette analyse de la population fongique est celle du Donezan où trois stations ont été choisies.

Chacune d'elles présente les stades phytosociologiques suivants, en relation avec les différents degrés d'inculture :

- stade 0 : pelouse à Fétuque,
- stade 1 : pelouse à Agrostis,

- stade 2 : lande à Callune,
- stade 3 : broussaille à Genêts, Cistes, Noisetiers,
- stade 4 : implantation forestière à Pins sylvestres ou Hêtres.

Les sols de ces trois stations n'ont pas été analysés. Il s'agit probablement de sols podzolisés avec rendzines dans la première station, avec pseudogley dans la deuxième, avec tendance au ranker dans la troisième.

Une prospection plus limitée a également été faite à partir de prélèvements dans les pelouses subalpines du Pic de Midi de Bigorre.

II. — ANALYSE DE LA MYCOFLORE

A. — MÉTHODOLOGIE.

— Prélèvements : pour chaque stade de chaque station, les prélèvements à la tarière sont effectués à trois profondeurs différentes : 5, 10 et 20 cm.

— L'inoculation des milieux de culture s'effectue soit directement à partir de fragments de terre (en général après tamisage), soit après humidification à l'eau stérile jusqu'à saturation, soit après dilutions selon les méthodes de WARCUP (1950, 1960). Ces dernières méthodes permettent d'aborder une étude quantitative des espèces isolées.

— Les milieux de culture sont soit des milieux standards : Mycological Agar Difco, milieu de Czapek, soit des milieux sélectifs : milieux à base de cellulose, de lignine, milieu pour Actinomycètes. Pour limiter les développements bactériens, les milieux cultureux sont additionnés de chloramphénicol (5 γ /l).

— Conservation des souches : après obtention de cultures pures, les souches sont conservées soit sur gélose en tube, soit sous vide en tubes scellés après lyophilisation.

B. — INVENTAIRE DE LA MYCOFLORE.

A partir de 15 sites de prélèvements, 125 expériences ont été conduites, en 1972, 1973 et 1974. Les résultats peuvent être ainsi résumés :

Les souches isolées se répartissent dans les différents groupes systématiques, mais leur importance est très inégale.

Actinomycètes : présence fréquente mais la détermination des espèces, particulièrement délicate, n'a pu être inscrite dans cette étude.

Phycomycètes : peu représentés, présence occasionnelle de *Pythium* sp.

Ascomycètes et *Basidiomycètes* : s'ils sont présents dans les isolats, les cultures n'ont permis d'observer que leurs formes imparfaites. Il faut noter la présence de *Mycelia sterilia* qui pourrait correspondre éventuellement à des espèces de Basidiomycètes chez lesquels les formes mycorhiziennes n'ont pas été recherchées.

La très grande majorité des espèces isolées se range parmi les *Zygomycètes* (Mucorales) et les *Fungi Imperfecti* (Moniliales ou Hyphomycètes).

Parmi les Mucorales, les formes dominantes sont surtout représentées par *Mucor strictus*, *Mucor ramanianus*, *Cunninghamella echinulata*, *Mortierella* sp., *Absidia glauca* (moins fréquent) et *Rhizopus*.

Parmi les Moniliales, il faut noter la fréquence des *Fusarium*, section *elegans*, type *oxysporum*, et, à un degré moindre, de *Trichoderma viride*, *Cladosporium herbarum*, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Paecilomyces varioti*, *Gliocladium fimbriatum*, *Pullularia pullularis*, *Stachybotrys atra* et *Phialophora* sp.

Mais ce qui caractérise ces Mucorales et Moniliales est leur *ubiquité*. Il n'est donc pas apparu d'indicateur fongique spécifique d'un site ou d'un peuplement végétal de surface particulier.

La distribution verticale de ces espèces dans le sol n'a pas fait apparaître de variations significatives de la mycoflore, si ce n'est un appauvrissement quantitatif dans les zones inférieures.

C. — ETUDE QUANTITATIVE.

L'étude quantitative des espèces fongiques du sol est souvent sujette à de nombreuses critiques du fait de leurs facultés très inégales de sporulation. La technique de l'isolement sur plaques après dilution favorise les formes sporulantes au détriment des formes mycéliennes. Il est cependant apparu :

— une prédominance des *Fusarium* et de *Mucor strictus* dans les sols à pelouse (stade 0 et 1),

— une dominance de *Mucor ramanianus* et de *Trichoderma viride* en présence de *Calluna vulgaris* (lande - stade 2).

Cette différence ne peut être fortuite car elle a également été observée par THORNTON (1960) entre ces deux types phytosociologiques, *Trichoderma viride* paraissant surtout caractériser les sols forestiers.

L'importance des *Fusarium* dans la mycoflore des sols supportant des pelouses trouve sa confirmation dans l'étude plus ponctuelle réalisée à partir des pelouses subalpines du Pic du Midi. Ce genre de Tuberculariacées y est associé à des Mucorales (*Mucor strictus*) et des Imperfecti (*Penicillium*, *Cladosporium*, *Stachybothris*, *Pullularia*,...) mais il apparaît nettement constant.

D. — UTILISATION DE SUBSTRATS SPÉCIFIQUES.

Les champignons telluriques interviennent activement dans la dégradation des résidus organiques végétaux. Les espèces fongiques ayant une action remarquable en tant que cellulolytiques et ligninolytiques ont été recherchées, soit directement par piégeage dans le sol, soit par culture des souches isolées sur substrat spécifique : milieu à cellulose en poudre, milieux enrichis en lignine (sciure de pin, rafles de maïs traitées à H_2SO_4).

Les Basidiomycètes sont bien connus comme agents actifs de dégradation de ces milieux, mais les méthodes d'isolement utilisées n'ont pas permis de les recenser dans cette étude.

Parmi les cellulolytiques isolés, on peut citer les genres *Mucor*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Pullularia*.

La plupart d'entre eux sont aussi des celluloligninolytiques (milieux sciure, maïs), notamment *Rhizopus*, *Mucor*, *Cladosporium*, *Botrytis*.

Les souches isolées, en fonction de leurs possibilités physiologiques, peuvent être à l'origine d'une exploitation pratique en tant qu'agents de biodégradation, de producteurs de biomasses (cultures en fermenteurs).

CONCLUSION

L'hypothèse de travail initiale consistait à rechercher une éventuelle signature mycologique de l'inculture dans des sites pyrénéens.

L'inventaire de la mycoflore fongique, le long de caténas significatives d'inculture, fait surtout apparaître l'ubiquité de ces microorganismes. Si la prédominance de quelques types mycologiques (*Fusarium*, *Trichoderma*) a pu être associée à certains peuplements végétaux de surface (pelouse, lande) pouvant marquer différents stades d'abandon des sols, l'importance d'autres facteurs serait à déterminer (nature du sol, son degré d'humidité, etc.). La localisation au niveau de la rhizosphère serait à rechercher, ce qui permettrait d'aborder l'étude des espèces mycorhiziennes (rôle des Basidiomycètes).

L'analyse quantitative, pour être fiable, aurait nécessité des sorties sur le terrain beaucoup plus fréquentes, mais imposant un travail au laboratoire sans mesure avec les moyens disponibles.

Cependant, la recherche de particularités physiologiques des souches isolées permettrait leur exploitation éventuelle dans des domaines pratiques (ex. : biodégradation des plantes herbacées dont l'accumulation par suite de la régression des surfaces de fauche favorise les coulées de neige, utilisation en cultures en fermenteur).

Les sorties dans la zone privilégiée Cerdagne-Capcir-Donzan ont permis de vérifier que l'action dégradante de l'Armillaire (*Clitocybe mellea*) vis-à-vis du peuplement forestier demeurait très actuelle et tout particulièrement active dans l'étage du Pin à crochet. Ce problème devrait être envisagé dans de futures recherches sur le thème de l'inculture pyrénéenne.

BIBLIOGRAPHIE

- MEYER (J.), 1954. — Ecologie des moisissures du sol et leurs relations avec la végétation. *Trans. 5th Intern. Congr. Soil Sci., Leopoldville*, 3, 71-75.
- ORPUT (P.A.) et CURTIS (J.P.), 1957. — Soil microfungi in relation to the prairie continuum in Wisconsin. *Ecology*, 38, 628-637.
- THORNTON (R.H.), 1956. — Fungi occurring in mixed Oakwood and heath soil profiles. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 39, 485-494.
- THORNTON (R.H.), 1958. — Biological studies of some tussock grassland soils. II — Fungi. *N. Z. J. Agric. Res.*, 1, 922-938.
- THORNTON (R.H.), 1960. — Growth of fungi in some forest and grassland soils. In *The ecology of soil fungi* (Parkinson D. and Waid J.S. Ed.), 84-91.
- WARCUP (J.H.), 1950. — The soil-plate method for isolation of fungi from soil. *Nature*, 166, p. 117.
- WARCUP (J.H.), 1960. — Methods for isolation and estimation of activity of fungi in soil. In *The ecology of soil fungi* (Parkinson D. and Waid J.S. Ed.), 3-21.

INFLUENCE DU DÉBOISEMENT ET DU REBOISEMENT SUR LES BIOCÉNOSES DE COLLEMBOLS DANS QUELQUES SOLS PYRÉNÉENS

par L. BONNET, P. CASSAGNAU et L. DEHARVENG

Laboratoire de Zoologie, E.R.A. 490 « Ecobiologie des Arthropodes édaphiques »
Université Paul Sabatier, 31077 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

L'utilisation de méthodes statistiques (Analyse des Correspondances, Nuées Dynamiques, Analyse hiérarchique) a permis de montrer l'influence des actions de déboisement et de reboisement sur la rupture de l'équilibre biocénologique des populations de Collembolus du sol dans quatre stations des Pyrénées : appauvrissement en espèces fragiles sténotopes à l'avantage d'espèces plus résistantes ou ubiquistes. La perturbation de la stratification naturelle du biotope édaphique favorise, dans les saignées comme dans les reboisements, la multiplication des formes éuédaphiques au détriment des hémiedaphiques mésophiles. Le peuplement ainsi formé apparaît comme intermédiaire entre le peuplement climacique d'origine et celui des formations naturelles qui tendent à s'installer (paysage découvert en forêt et vice-versa).

L'inféodation très stricte des Collembolus aux conditions éoclimatiques des biotopes édaphiques en fait d'excellents indicateurs des fluctuations temporo-spatiales des facteurs du milieu. Dans un travail d'ensemble amorcé il y a déjà 25 ans et publié en 1961, l'un de nous (P. C.) avait montré la complexité biocénologique des peuplements de Collembolus dans les Pyrénées Centrales (Massif du Néouvielle) et la disposition en mosaïque des synusies délimitées à partir d'une simple comparaison de relevés planifiés sous la forme de « prélèvements-

SUMMARY

The use of statistical methods (Factor Analysis of Correspondances, Dynamic Cluster Method) shows the influence of deforestation and reforestation on the rupture of the biocenological balance inside Collembolan populations of four Pyrenean stations : decrease of stenotopic species and increase of ubiquitous and strong species. The perturbation of the natural stratification of edaphic biotops increases the growth of euedaphic species population to the prejudice of mesophilous hemiedaphic species in deforested zones. The new population is intermediate between the original climax-population and that of the natural formation corresponding to the new tendency (open biotop from forest and inversely).

unités », et de l'affinité cénologique des espèces entre-elles. Cette structure biocénologique était elle-même facilement explicable par l'analyse précise des facteurs climatiques eux aussi répartis en mosaïques.

Ce travail utilisait les méthodes statistiques rudimentaires qui avaient cours en biocénologie édaphique aux alentours des années 50 et qui suffisaient largement à faire ressortir les traits les plus saillants, tant était nette la réponse des organismes aux contraintes du milieu.

L'apparition d'un arsenal de techniques beaucoup plus élaborées permet de franchir de nouvelles étapes dans les quinze dernières années, en particulier l'Analyse factorielle des Correspondances de Benzécri (CORDIER, 1965).

La première utilisation de cette méthode en Ecologie a été son application par l'un de nous (L. B.) aux peuplements thécamoébiens du sol du Gabon (1966).

Un peu plus tard, un élève de BENZÉCRI, frappé par la structure cohérente des synusies de Collembolles du Massif du Néouvielle, soumet notre matériel primaire à l'Analyse des Correspondances, sans référence aucune au contexte écologique dont bien entendu il ignorait presque tout. Nous renvoyons le lecteur pour le détail de cette démarche au travail paru en 1973 (cf. SALEM in BENZÉCRI, 1973). Nous nous contenterons d'en citer les conclusions principales :

« En collationnant les 18 tableaux T_i , nous avons constitué un tableau général $k_{\text{EXR}} = \{k(e, r) \mid e \in E, r \in R\}$ où E est l'ensemble des 108 espèces présentes dans un relevé au moins, et R l'ensemble des 318 relevés (répartis par C en 18 synusies). Pour remplir les cases de ce tableau nous nous sommes fiés à l'intuition de l'auteur et nous avons pris pour valeur de $k(e, r)$ son indice numérique d'abondance. A ce codage près (et on verra au paragraphe 3 que l'analyse des correspondances permet de valider le choix des bornes des classes d'abondances et eût pu suffire à guider ce choix) le tableau de base de notre analyse, k_{EXR} , n'est fait que des données brutes; il ne bénéficie pas de leur élaboration par le naturaliste, et notamment de la répartition des relevés en synusies.

Nous avons donc soumis les données à un programme d'analyse des correspondances (temps de calcul : 4 min sur Univac 1106). Dans le commentaire qui suit, nous ne ferons que citer quelques faits relatifs aux représentations obtenues pour le nuage des 108 espèces, celles-ci étant inconnues du non-spécialiste. En revanche nous avons dessiné les vues dans les plans 1×2 , 3×4 , 5×6 et 7×8 du nuage des 108 relevés : car, grâce à un code graphique expliqué ci-dessous, le classement des

relevés en 18 synusies et de celles-ci en 4 groupes proposé par P. CASSAGNAU se retrouve avec une netteté que chacun peut apprécier ».

Dans le cadre du programme D.G.R.S.T., *Inculture pyrénéenne* (Comité « Equilibres et lutte biologiques »), il était tentant d'appliquer un tel matériel et une telle méthode à l'étude de la rupture des structures climaciques sous l'impact d'une agression humaine au niveau des peuplements du sol, la méthodologie ainsi testée pouvant bien entendu par la suite s'étendre à d'autres types d'équilibres biocénétiques.

La nature et l'importance des modifications qui touchent les faunules de Collembolles seront étudiées parallèlement sous deux aspects complémentaires : déboisement d'un climax forestier — reboisement à partir d'une prairie.

Dans un premier temps, nous avons fait porter notre effort sur les saignées ouvertes par la station de ski du Piau d'Engaly (commune d'Aragnoet) en vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées) et ceci pour plusieurs raisons :

— La vallée d'Aure et le Massif du Néouvielle sont les régions des Pyrénées Centrales où la pédofaune est la mieux connue à la suite des recherches que nous y poursuivons depuis plus de 20 ans.

— La proximité du laboratoire biologique d'Ordon facilite la prospection sur le terrain, et le traitement du matériel.

— L'ouverture de la station de ski a amené une agression limitée mais très nette, par la pratique de saignées dans une forêt humide (hêtraie-sapinière) isolée au sein des prairies des étages montagnards et subalpins.

— La saignée étudiée est franche et récente (1968-1969) ce qui permet d'étudier à chaud la rupture de l'équilibre et d'envisager par la suite l'étude de l'évolution temporelle vers un nouvel équilibre.

Dans un deuxième temps, nous avons transféré notre centre d'intérêt dans le secteur géographique choisi pour l'élaboration du programme des différentes équipes : la Haute vallée de l'Aude. Nous y

avons étudié les conséquences d'un reboisement en lisière de la forêt de la Matte, ainsi que la rupture de l'équilibre dans des saignées pratiquées par l'E.D.F. à Usson et dans la forêt de Carcanet.

Plus récemment, la mise au point de la méthode dite des « Nuées Dynamiques » (DIDAY, 1971) fournit au chercheur un instrument plus affiné susceptible d'apporter un complément d'information dans l'établissement des groupements naturels. L'un de nous a transposé tout récemment pour la première fois, cette méthode en Ecologie édaphique (et vraisemblablement en Ecologie tout court) dans l'étude des peuplements thécamoebiens des sols de Côte d'Ivoire (BONNET, 1976). L'utilisation qui en est faite ci-dessous prolonge ce premier essai et représente la première application aux Arthropodes édaphiques.

1. — MÉTHODES ET TECHNIQUES

Nous avons utilisé des unités de prélèvement de 500 cm³ environ, traitées au Laboratoire sur appareil de Berlière. Pour chaque prélèvement, l'aspect quantitatif de chaque espèce est traduit par une classe d'abondance selon les limites suivantes :

Nombre d'individus par prélèvements	Classe d'abondance
1 à 5	1
5 à 10	2
10 à 20	3
20 à 50	4
50 à 100	5
100 à 500	6
plus de 500	7

Le matériel primaire d'analyse est constitué par les tableaux à double entrée « espèces-prélèvements » précisant la classe d'abondance de chaque espèce dans chaque prélèvement. Nous ne donnerons pas ici le détail de ces données pour ne pas alourdir l'exposé.

L'étude statistique des tableaux de distribution des espèces consiste essentiellement en une mise en évi-

dence de groupements d'espèces et de biotopes ou de prélèvements par comparaison de profils écologiques ou de profils faunistiques. Les méthodes utilisées sont la classification automatique et l'analyse factorielle des correspondances.

1.1. CLASSIFICATION AUTOMATIQUE.

Son but est de générer une partition dans un ensemble non structuré au départ (ici la liste des espèces). La partition doit être telle que les individus de chaque classe présentent une « ressemblance » la plus grande possible, et que les individus de deux classes différentes offrent une ressemblance la plus faible possible.

Deux méthodes, dont le principe et les buts sont différents, ont été utilisées

1.1.1. *Analyse hiérarchique.* Elle consiste à établir, en un premier temps, une matrice d'affinité (ou de similarité) des sujets à partir de la comparaison de leurs profils deux à deux. On recherche ensuite dans cette matrice les sujets les plus affinés, qui constituent l'association du plus haut niveau. Puis, en faisant décroître le seuil d'affinité, on met en évidence des groupements de niveau de plus en plus bas. Le résultat est figuré par un dendrogramme.

Cette méthode présente l'avantage (appréciable en biosociologie) de fournir des groupements hiérarchisés. De plus, la solution à laquelle elle aboutit est unique.

L'indice d'affinité peut être choisi parmi les très nombreux indices d'association ou de similarité disponibles. Nous avons retenu, pour la présente étude, le complément à la distance du χ^2 .

1.1.2. *Nuées Dynamiques.* Cette méthode (DIDAY, 1971; exemple dans BONNET, 1976) consiste à déterminer au départ dans l'ensemble à partitionner, des groupes de sujets (étalons) qui constituent le squelette de la future partition, puis à agréger à ces groupes les divers sujets en fonction de leur distance au centre des groupes. La structure ainsi obtenue est remaniée par itération jusqu'à l'obtention d'une

structure stable. L'inertie intra-classes est alors minimale, et l'inertie inter-classes maximale.

Contrairement à ce que l'on observe dans l'analyse hiérarchique, il existe plusieurs solutions et les groupements obtenus ne sont pas hiérarchisables. En pratique, il est utile de procéder à plusieurs tirages d'étaçons : si les tirages successifs font apparaître des classes sensiblement voisines (formes fortes) on peut en conclure que les données sont classifiables, et que la partition obtenue correspond à une réalité concrète.

Les « individus-charnières », qui, au cours des différents tirages passent d'une classe à l'autre représentent, dans notre problème, des espèces eurytopes.

Nous avons retenu, pour l'agrégation des espèces, la métrique du χ^2 . Les étaçons des groupes ont été, au départ, tirés au hasard, avec un effectif égal à $3/4 \cdot N/K$ pour une partition en K classes et pour N espèces.

Les méthodes de classification automatique ne fournissent aucun élément d'information sur les raisons profondes de la partition obtenue. Les méthodes d'analyse factorielle apportent par contre un complément intéressant, permettant de formuler des hypothèses sur la signification de la partition.

1.2. ANALYSE DES CORRESPONDANCES.

Considérons le tableau de dépendance relatif à un premier ensemble de P relevés et un second ensemble de Q espèces.

Chaque ligne du tableau est constituée par les fréquences des différentes espèces dans les différents relevés représentés par les colonnes.

L'analyse des correspondances permet de décrire les éventuelles proximités existant entre les espèces, entre les milieux, et entre les espèces et les milieux. Dans l'espace ayant par exemple autant de dimensions qu'il existe de colonnes dans le tableau (P dimensions) deux points figurant deux espèces seront d'autant plus proches que les profils de leurs fré-

quences dans les milieux seront plus voisins. En outre, si une espèce intervient avec une fréquence élevée dans le profil d'un milieu, elle sera très proche de ce milieu.

L'ensemble des points constitue un nuage qui s'étire dans l'espace à P (ou Q) dimensions suivant plusieurs directions ou axes qu'il est intéressant de concrétiser.

L'analyse des correspondances permet de par le choix de sa métrique la représentation simultanée des variables-colonnes (milieu) et des variables-lignes (espèces) dans le système de référence constitué par les axes. L'importance relative de ces derniers peut être déterminée d'après la fraction d'inertie dont ils rendent respectivement compte.

Pour plus de précisions sur cette méthode, nous renvoyons le lecteur à l'exposé qui en a été fait récemment (BONNET, CASSAGNAU, TRAVÉ, 1975).

Nous nous bornerons ici à exposer brièvement les résultats. Le détail de l'analyse des saignées du Piau d'Engaly (analyse des correspondances) a déjà été publié (BONNET, CASSAGNAU, DEHARVENG, 1976), dans la Revue d'Ecologie et de Biologie du sol où paraîtront ultérieurement les données relatives aux autres exemples cités ci-dessous.

2. — STATION DE SKI DU PIAU D'ENGALY (Hautes-Pyrénées)

La hêtraie-sapinière étudiée forme une écharpe sur la rive sud de la vallée de Badet au pied du Pic de la Lutette (entre 1450 et 1800 m d'altitude). (Bois de Barguerettes au-dessus du Plan d'Aragnouet).

Contrairement à la vallée adjacente de Couplan qui permet d'atteindre les zones lacustres du Néouvielle, la vallée de Badet ne voit pas la forêt se développer très haut et à 1800 m d'altitude, nous sommes déjà à la limite des forêts humides (hêtraie-sapinière) que ne relaient pas les pinèdes de l'étage subalpin (*Pinus silvestris* et *Pinus uncinata*). Audelà d'une futaie assez maigre (pour les hêtres en

particulier) limitée à l'ombrée, nous passons à des landes à rhododendrons et aux prairies subalpines qui tapissent toute la haute vallée des Nestes de Badet et de la Gela. La vallée est largement ouverte (photo 1) et plus ensoleillée que la vallée de Couplan, ce que souligne en soulane la présence de champs de céréales probablement les plus élevés des Pyrénées (1 700 m); la zone étudiée correspond donc au groupement mésohyrophile VI C de CHOUARD (1949) bordé par les landes calcifuges V D et V G qui font la transition entre les prairies fauchables qui ne dépassent guère l'amont du Plan d'Aragnouet et les étendues subalpines constituant les champs de ski.

L'accès aux pistes de ski a nécessité l'ouverture de 2 saignées; l'une sert de piste de descente entre « Fontaine Froide » et le Pont de Lhère, et emprunte une ancienne pente de prairie élargie artificiellement où le sol a été totalement détruit; l'autre perpendiculaire à la pente et large d'environ 50 m, a permis l'installation des pylones des télésièges reliant les cotes 1 400 et 1 950. C'est celle qui est étudiée ici. Cette saignée présente un recouvrement assez hétérogène; entre les souches restées en place (photo 2) subsistent des plaques fragmentées de litière et d'humus souvent mêlées de terre et de cailloutis, la disposition stratifiée régulière étant sans doute fortement remaniée par la fusion de la neige au printemps et les ruissellements en été. Il s'y développe une végétation encore clairsemée de graminées diverses, de fougères, millepertuis, digitales, églantiers... insuffisante bien entendu pour soustraire à l'action de l'ensoleillement les couches superficielles du milieu édaphique.

Après une étude préliminaire d'une vingtaine de prélèvements de sondage réalisés en juillet 1972, 100 prélèvements (plus ou moins 500 cm³) ont été effectués, les 10, 11, 12 septembre 1972 en un seul lot, et traités en même temps sur appareils de Berlése afin d'éliminer d'éventuelles fluctuations dues aux cycles saisonniers.

L'analyse de ce matériel nous a conduit à conserver en vue d'une étude statistique des peuplements les 60 relevés les plus significatifs. Ce sont :

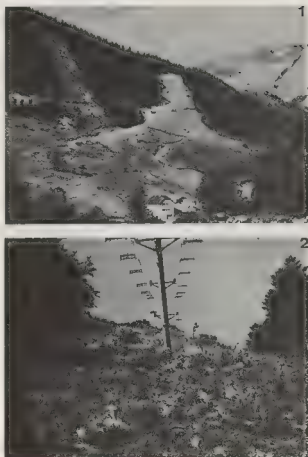


FIG. 1. — Photo 1. — Vue générale de la basse station du Piau d'Engaly. De gauche à droite : la parcelle orientale du bois de Barguerettes, la saignée des télé-sièges, la parcelle occidentale, la piste de descente de Fontaine Froide, la portion inférieure de la forêt, et dans le fond, le massif de Campbach dans les nuages.

Photo 2. — Détail de la saignée des télé-sièges. A gauche, lisière ombragée de la parcelle orientale; à droite, lisière ensoleillée de la parcelle occidentale (photos prises à midi le 25 août 1973).

— 10 prélèvements d'humus et litière dans la parcelle de forêt à l'est de la saignée (relevés 1 à 10).

— 10 prélèvements d'humus et litière dans la parcelle de forêt à l'ouest de la saignée (relevés 11 à 20).

— 10 prélèvements d'humus et de litière dans la partie est de la saignée (entre la rangée de pylones et la parcelle est) (relevés 51 à 60).

— 10 prélèvements d'humus et de litière dans la

portion ouest de la saignée (entre la rangée de pylones et la parcelle ouest (relevés 41 à 50).

— 10 prélèvements de prairie-lande à « Fontaine-Froide » à l'extrémité orientale de la parcelle est (1 650 m) (relevés 21 à 30).

— 10 prélèvements de prairie-lande au-dessus de la limite supérieure de la forêt (1 850 m) (relevés 31 à 40).

Le peuplement de la saignée apparaît donc comme :

— Un peuplement appauvri par rapport au peuplement forestier; 33 espèces sont représentées dans le peuplement bois oriental; les prélèvements du milieu « saignée » renferment : 33 espèces pour les 10 prélèvements de la saignée Est, 31 pour les 10 prélèvements du bois Ouest, 30 espèces pour les 10 prélèvements de la saignée Ouest.

Si l'on s'en tient aux formes caractéristiques telles que nous les donne l'analyse statistique, nous trouvons 13 espèces caractéristiques de la forêt contre 10 caractéristiques de la saignée.

L'appauvrissement du peuplement est net. Le plus étonnant est qu'il soit aussi peu important. En effet, la prairie s'avère plus pauvre en espèces que la saignée avec 28 espèces pour les 10 prélèvements de la prairie supérieure et seulement 16 pour les 10 prélèvements de la forêt inférieure !

— Un peuplement dominé quantitativement par les ubiquistes; 5 des 6 espèces les plus abondantes dans la saignée sont des espèces ubiquistes, largement répandues dans les autres milieux : *Folsomia 4-oculata*, *Pseudisotoma monochaeta*, *Isotomiella minor* (à tendances forestières), *Isotoma notabilis* (à tendance « prairie »), *Onychiurus armatus*. Il est remarquable que ces espèces soient généralement plus abondantes dans la saignée qu'ailleurs : la colonisation rapide du milieu leur a offert un champ de développement sans doute moins encombré de concurrence vitale.

— Un peuplement encore très riche en espèces forestières et peu pénétré par les formes de prairie; sur les 38 espèces de la saignée, 18 sont indubitablement des espèces forestières (contre 6 seulement typiques de la prairie) : le peuplement forestier est donc loin d'avoir été décimé par le déboisement.

Bien plus, certaines espèces typiquement forestières ont profité de l'établissement de la saignée où elles se trouvent souvent plus abondantes que dans leur milieu d'origine : c'est le cas de *Micranurida meridionalis*, espèce à la limite altitudinale de son peuplement, qui a bénéficié dans la saignée de conditions plus favorables à son développement; c'est aussi le cas d'*Isotomina debilis*, *Megalothorax minimus* et *Tullbergia callipygos* qui ont bénéficié (comme d'ailleurs l'espèce précédente) de conditions favorables à la faune eu-édaphique (que nous examinerons plus loin); c'est enfin le cas de *Neanura muscorum* et *Pseudachorutes parvulus*, pour des raisons plus obscures (ce sont parmi les plus eurytopes des *Neanuridae* : le déboisement a pu les toucher moins que les autres espèces de la famille et leur fournir un champ de développement sans la concurrence de ces autres espèces...).

Enfin, un certain nombre d'espèces forestières (la majorité) ont tout de même régressé lors de l'établissement de la saignée, les nouvelles conditions écologiques du milieu ne leur permettant pas de compenser la suppression du couvert végétal. La régression de ces espèces peut être légère ou moyenne (*Protachorutes pyrenaicus*, *Ceratophysella armata*... etc...); elle est très forte pour quelques espèces (*Bilobella aurantiaca*, *Lepidocyrtus curvicolis*, *Sminthurinus niger*); seulement deux espèces typiquement forestières disparaissent totalement dans la saignée : *Neanura plena* et *Folsomia pyrenaica*.

— Un peuplement à faune eu-édaphique riche et variée; alors qu'en forêt et en prairie, les eu-édaphiques restent pauvrement représentés en espèces et souvent en individus, ils deviennent beaucoup plus nombreux dans la saignée.

Parmi les 10 espèces caractéristiques de la saignée, 6 (dont les 5 les plus abondantes) sont des formes biologiques de type eu-édaphique (au sens de GISIN, 1943 : yeux réduits, dépigmentation). Par comparaison, la forêt n'a que 2 eu-édaphiques pour 13 espèces caractéristiques et la prairie 1 pour 11.

Parmi les 10 espèces les plus abondantes en saignée, 7 sont des eu-édaphiques. Au sein de ces eu-édaphiques, les formes à furca sont les plus

importantes (5 sont à furca complète, 2 sans furca); les 5 autres espèces eu-édaphiques (donc les moins bien représentées en saignée) sont dépourvues de furca. On ne peut être plus net...

CONCLUSION : L'ORIGINALITÉ DU PEUPEMENT.

La saignée se présente donc à la fois comme un milieu intermédiaire entre ceux de la forêt et de la prairie (peuplement forestier appauvri et pénétré d'éléments de la prairie), comme un milieu neuf (que colonisent d'abord les espèces eurytopes) et comme un milieu original par le développement des espèces eu-édaphiques : ainsi s'explique la position à la fois intermédiaire et excentrique des espèces de la saignée par rapport à celles de la prairie et de la forêt dans l'Analyse des Correspondances.

3. — REBOISEMENT EN FORÊT DE LA MATTE (Pyrénées-Orientales)

La forêt de la Matte est une magnifique futaie de *Pinus sylvestris* qui se développe sur le plateau du Capcir à 1 550 m d'altitude. Elle est entourée de vastes prairies de fauche; le reboisement étudié se trouve au Nord et contigu à la forêt de la Matte. C'est un reboisement assez récent en pins sylvestres (les arbres atteignent au plus, au moment de l'étude, 5 à 6 m de haut, photos 3 et 4).

Par rapport à la hêtraie sapinière du Piau d'Engaly, nous sommes en présence d'une station beaucoup plus ensoleillée et moins humide; le couvert forestier est plus léger et le sous-bois a l'aspect d'une pelouse à flore subalpine (Myrtilles, grande gentiane, arnica..., traduisant également le caractère acide du sol).

Nous avons effectué 20 prélèvements de sol dans la futaie, 20 dans la prairie et 20 dans le reboisement, le tout dans un rayon de 150 m et sur sol rigoureusement plan : nous pensons ainsi avoir éliminé certaines variations dues aux différences d'altitudes rencontrées au Piau d'Engaly.

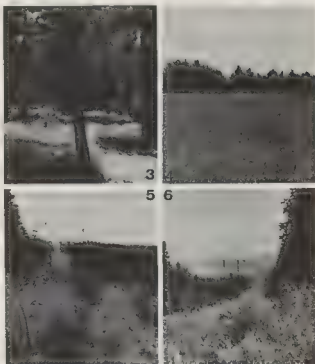


FIG. 2. — Photo 3. — Vue de la futaie en forêt de la Matte
Photo 4. — La prairie de la Matte en lisière nord de la forêt.
Dans le fond, parcelle du reboisement.

Photos 5 et 6. — Deux aspects de la saignée à pylones dans la forêt de Carcanet.

Les prélèvements ont été effectués en juin 1974 et immédiatement traités à l'appareil de Berlèse comme précédemment. Là aussi, nous avons effectué une analyse sur les données corrigées (3 biotopes et abondances cumulées des 42 espèces principales par biotope) par l'Analyse des Correspondances et la méthode des Nuées Dynamiques.

Le peuplement du reboisement apparaît comme :

— Un peuplement appauvri par rapport à celui de la prairie. L'appauvrissement est cependant peu marqué puisque les 2 milieux possèdent le même nombre d'espèces caractéristiques; mais si on se réfère au nombre total des espèces, la prairie en héberge 27 contre 25 dans le reboisement. Comme au Piau, la forêt est sans conteste le plus riche des 3 milieux avec 16 espèces caractéristiques et 33 espèces au total.

— Un peuplement seulement assez riche en ubiquistes. Si les 2 espèces les plus abondantes sont des formes assez ubiquistes (*Lepidocyrtus curvicolis* et *Isotoma notabilis*), les 5 espèces suivantes sont des formes forestières : nous n'avons pas ici l'importante domination du peuplement par les ubiquistes que nous avons trouvé au Piau (*Onychiurus armatus* est peu représenté, et *Pseudisotoma monochaeta* est absente du reboisement !)

— Un peuplement dominé par les espèces forestières. 5 des 7 espèces les plus abondantes du reboisement sont des formes forestières incontestables à la Matte. Ce sont par ailleurs les plus banales et eurytopes des espèces forestières, et même si *Frieesea truncata* et *Pseudosinella alba* sont absentes des prairies de la Matte, leur eurytopie a déjà été maintes fois notée d'une manière plus générale. On doit encore souligner que sur les 13 espèces caractéristiques du reboisement, 9 sont plus représentées en forêt qu'en prairie, et 1 seule est plus abondante en prairie qu'en forêt !

— Un peuplement très peu pénétré par les espèces forestières les plus strictes. Paradoxalement, la majorité des formes forestières ne se retrouve pas dans le reboisement : sur les 16 espèces forestières caractéristiques, 13 sont totalement absentes du reboisement ! La riche faune forestière de *Neanuridae* ne s'est point encore établie dans le reboisement.

Apparemment, seules les espèces forestières les plus eurytopes ont donc pu coloniser le reboisement, où leurs populations ont pu se développer plus librement qu'en forêt (moindre pression sélective) : ces formes sont devenues plus abondantes dans le reboisement que dans leur milieu d'origine, la forêt.

— Un peuplement très régressé de formes de prairies. Les Collemboles de la prairie ont été assez fortement touchés lors du reboisement. Parmi les caractéristiques du reboisement, 1 seule espèce (*Isotomodes productus*) est une forme de prairie. Sur les 12 autres espèces représentées dans le reboisement mais non caractéristiques, 8 sont des formes de prairie (dont les effectifs ont régressé lors du reboisement), 7 espèces de prairie (sur 16) ont totalement disparu dans le reboisement. Nous som-

mes donc en présence d'un contingent fortement appauvri de formes de prairie.

— Un peuplement à riche faune eu-édaphique. Sur les 25 espèces présentes dans le reboisement, 10 sont des eu-édaphiques. Si on considère les 13 espèces caractéristiques, nous retrouvons 7 eu-édaphiques. Nous retrouvons donc, comme dans la saignée du Piau, une faune eu-édaphique variée ; mais elle est ici moins abondante (2 eu-édaphiques seulement chez les 7 caractéristiques les plus abondantes du reboisement).

— Un peuplement à faune hémiedaphique régressée. 4 hémiedaphiques sur les 13 caractéristiques du reboisement, contre 7 sur 13 pour la prairie et 11 sur 16 pour la forêt : comme au Piau, les formes hémiedaphiques ont fortement diminué dans le milieu perturbé par l'homme.

— Comparaison avec la saignée du Piau d'Engaly. Les analogies entre le peuplement du reboisement à la Matte et de la saignée au Piau sont évidemment frappantes

Pourtant, nous ne trouvons que 26 espèces communes aux 2 stations sur un total de 71 espèces ! 24 espèces ne se trouvent qu'au Piau, 21 sont particulières à la Matte. Conformément aux données climatiques et phytosociologiques, la majorité des espèces spéciales à la Matte sont à tendances plus xérophiles ou plus thermophiles (*Xenylla schillei*, *Isotoma viridis*, *Cryptopygus thermophilus*). La plupart des formes spéciales au Piau sont à tendance plus cryophiles et plus hygrophiles (*Ceratophysella tuberculata*, *Frieesea mauriesi*, *F. pyrenaica*, *Protachorutes pyrenaicus*... etc.). Enfin, la plupart des espèces communes aux 2 localités sont comme on pouvait s'y attendre des formes eurytopes et expansives.

Ainsi, sur un fond faunistique aussi dissemblable, est-il remarquable d'obtenir une structure biocénétique aussi comparable (les figures obtenues dans l'analyse statistique en témoignent amplement). Nous pensons qu'il n'est pas inutile de rappeler ici les similitudes des 2 peuplements :

— Richesse en formes ubiquistes.

— Richesse de la faune eu-édaphique.

Les différences tiennent évidemment à l'histoire « inverse » des milieux, l'un évoluant de la forêt vers la prairie (au Piau), l'autre de la prairie vers la forêt (à la Matte). Dans les 2 cas, cependant, l'importance des formes forestières dans le milieu perturbé et la pauvreté relative de la faune de prairie tiennent sans doute au caractère artificiel du milieu de prairie à ces altitudes (1 500-1 800 m), milieu qui ne peut se maintenir que sous la pression constante de l'activité humaine.

4. — SAIGNÉES FORESTIÈRES A USSON ET CARCANET (Haute Vallée de l'Aude)

Une première série de prélèvements a été faite à Carcanet, à 1 400 mètres d'altitude. Il s'agit d'une hêtraie-sapinière en versant Est dans laquelle a été établie, il y a une cinquantaine d'années, une large saignée (environ 20 m) pour le passage d'une ligne à haute tension (photos 5 et 6). La saignée, entretenue et occasionnellement pâturée, est couverte de prairies parsemées de buissons variés (jeunes hêtres, genêts, framboisiers, etc...). Nous avons prélevé 27 échantillons de sol en saignée et 25 en forêt, ces derniers à 10-20 mètres de la lisière afin d'éliminer « l'effet lisière » noté au Piau d'Engaly.

Une seconde série de prélèvements a été faite dans la même vallée à Usson (de 800 à 850 m d'altitude). La forêt y est formée de feuillus mêlés (chênes pubescents, hêtres, bouleaux...); dans la strate herbacée, *Hepatica triloba* indique un micro-climat assez frais et humide (nous sommes en versant nord-ouest). Une étroite saignée (environ 8-10 m de large) parcourt la forêt suivant la ligne de plus grande pente, permettant le passage d'une grosse conduite d'eau (installée en 1942). La végétation y est constituée de graminées et buissons bas (chênes, hêtres) sans jamais prendre l'aspect d'une prairie (peut-être en raison de la raideur de la pente). 22 prélèvements ont été effectués en saignée, 14 en forêt, 5 dans une petite clairière couverte de prairie (et avec quelques genévriers).

Pour ce qui est de Carcanet, le simple examen des relevés montre l'importance des différences entre forêt et saignée (une étude statistique nous a semblé superflue ici).

Les espèces forestières typiques, qui sont pour la plupart des *Neanuridae* hémiédaphiques, sont toutes moins abondantes en saignée qu'en forêt (sauf *Ceratophysella armata*, ce qui est difficilement explicable !). Les espèces de prairie prennent une grande importance en saignée et surpassent globalement en abondance les forestières (contrairement à ce qui se passe au Piau ou à la Matte, où la modification du milieu est plus récente). Le cas de *Brachystomella parvula*, mieux représentée en forêt qu'en saignée, reste là encore inexplicable.

Le comportement des principales formes ubiquistes est variable : 4 régressent, 4 augmentent en saignée, ce qui reflète peut-être des tendances écologiques préférentielles. Ce contingent est plus important dans la saignée que les forestières et les formes de prairie. Les eu-édaphiques ne suivent pas non plus un comportement similaire puisque 3 d'entre-elles sont plus abondantes en saignée, et 4 plus abondantes en forêt. Il faut noter toutefois la présence de 2 espèces eu-édaphiques de plus en saignée (absentes en forêt), ce qui correspond tout de même à un certain enrichissement faunistique (*Xenyllodes armatus*, *Arrhopolites* sp.).

Ainsi, il semble que la saignée dans la forêt de Carcanet ait acquis un peuplement intermédiaire entre forêt et prairie, mais dépourvu de l'originalité rencontrée à la Matte ou au Piau : l'ancienneté de la saignée a pu peut-être effacer les premières conséquences du déboisement (qu'on peut supposer semblables à celles observées au Piau : augmentation des ubiquistes et des eu-édaphiques), le nouvel équilibre atteint se traduisant simplement par un contingent appauvri de formes forestières et un contingent enrichi en formes de prairies.

A Usson, la structure biocénotique de la saignée paraît assez stable, avec un peuplement de type forestier xérophile.

La position légèrement excentrée du biotope « saignée » dans l'analyse des correspondances par

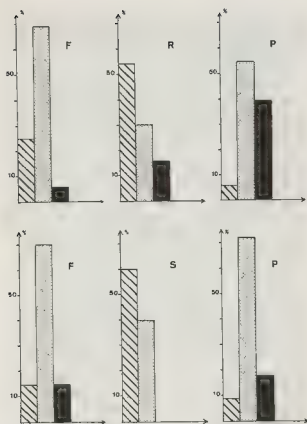


FIG. 3 — Pourcentage des diverses formes biologiques dans les différentes parcelles : En haut, la Matte ; En bas, le Piau d'Engaly. (F : Forêt ; P : Prairie ; S : Saignée ; R : Reboisement ; Hachures : eu-édaphiques ; Pointillés : hémi-édaphiques méso-philés ; Noir : hémi-édaphiques xérophiles et atmobies).

rapport aux espèces forestières-xérophiles s'explique par la présence de quelques espèces de prairie largement représentées.

Les Collembolles ubiquistes constituent comme dans les autres stations, les espèces les plus importantes numériquement : 4 sur 8 présentent une abondance maximum en saignée.

Les formes eu-édaphiques sont, dans l'ensemble, moins abondantes en saignée qu'en forêt, et plus abondantes qu'en prairie : de ce point de vue, la saignée occupe une position intermédiaire.

Il est maintenant possible de caractériser le peuplement de la saignée à Usson :

- dominance de Collembolles ubiquistes,

- régression des espèces forestières surtout les plus hygrophiles,

- biocénose de type forestier-xérophile pénétrée de quelques formes de prairie bien représentées,

- régression des eu-édaphiques.

A Usson, l'originalité du peuplement de la saignée tient surtout au développement d'espèces plus xérophiles, qui n'était point apparu si nettement dans les autres milieux étudiés auparavant, à cause peut-être de leur altitude élevée et de leur climat constamment humide : la modification du milieu s'est essentiellement traduite par un dessèchement du micro-climat, accentuée peut-être par la forte pente et l'existence d'une saison sèche (nous sommes presque en zone méditerranéenne, comme en témoigne la présence un peu plus bas, dans la vallée, de chênes verts...).

CONCLUSION

Les quatre exemples d'agressions de peuplements naturels climaciques étudiés ci-dessus montrent que le brusque passage d'un paysage couvert à un paysage découvert, et vice-versa, entraîne une rupture très nette des équilibres biocénotiques au niveau de la microfaune arthropodienne dont les Collembolles sont un des éléments dominants.

A partir d'un matériel différent dans chaque cas (dont la composition dépend bien entendu de la situation géographique des parcelles testées, de leur altitude, de leur orientation...) la réponse à l'instauration de nouvelles conditions éoclimatiques va se caractériser par l'appauvrissement en espèces fragiles sténotopes (par exemple les Neanuriens en climax forestier) de la parcelle perturbée à l'avantage d'espèces plus résistantes ou ubiquistes sans que le nouveau peuplement apparaisse comme la réalisation d'un équilibre de type opposé (équilibre prairial à partir d'un climax forestier, équilibre forestier à partir d'un climax prairial).

Sur toutes les figures à la base de ce travail, il est clair que les parcelles dont l'évolution naturelle a

été perturbée viennent s'intercaler entre les formations climaciques, celles-ci dans certains cas pouvant subir le contre-coup de l'agression voisine, comme nous l'avons montré à propos de la parcelle de bois ouest du Piau d'Engaly (BONNET, CASSAGNAU, DEHARVENG, 1976).

La perturbation de la stratification naturelle du biotope édaphique semble, aussi bien en saignée qu'en reboisement, favoriser la multiplication des formes eu-édaphiques au détriment des hémiedaphiques mésophiles et des espèces de l'atmobios. Les analogies entre la saignée du Piau d'Engaly et le reboisement de la Matte sont frappantes comme le souligne la figure 3 où sont portés les pourcentages respectifs des différents types biologiques dans les trois biotopes analysés.

Au point de vue méthodologique, les exemples choisis s'étant avérés particulièrement nets, il semble que l'on puisse faire dans de tels cas, l'économie de l'Analyse des Correspondances « Espèces-Prélèvements » pour traiter directement par une analyse « Espèces-Biotopes », ce qui représente évidemment un gain appréciable tant au niveau du temps de traitement des données qu'à celui du matériel informatique lui-même, dont on peut exiger de moindres performances.

L'utilisation de l'analyse des correspondances demande d'autre part une grande attention dans l'échantillonnage qui doit être toujours fait par un spécialiste averti de l'écologie des groupes zoologiques retenus et soucieux de l'homogénéité des relevés d'un même biotope. La trop grande disparité des prélèvements risquerait de se traduire lors de l'analyse par l'apparition d'une pseudo-variance beaucoup plus liée à la technique de récolte ou de traitement des échantillons par exemple qu'aux composantes réelles du biotope.

Quoi qu'il en soit, et lorsqu'on a le sentiment de travailler sur des parcelles écologiquement homogènes (dont l'homogénéité peut d'ailleurs être facilement testée de façon statistique), il apparaît plus intéressant de multiplier les biotopes en condensant dans chacun d'eux l'information contenue dans cha-

que prélèvement (fréquences ou abondances cumulées par exemple).

Les nuages de points-biotopes ou de points-espèces seront ensuite cernés de façon plus rigoureuse grâce à la méthode des nuées dynamiques qui a l'avantage entre autre de faire ressortir les éléments « charnières », par exemple les espèces eurytopes des peuplements.

Ce type d'analyse apparaît particulièrement adapté aux Invertébrés édaphiques, mais tout porte à croire que n'importe quel problème de biocénétique quantitative peut être abordé avec ces mêmes techniques dès l'instant que le matériel considéré se prête à un échantillonnage d'éléments relativement homonomes au sein d'un même milieu.

BIBLIOGRAPHIE

- BENZECRI (J.P.), 1970. — Distance distributionnelle et métrique du X^2 en analyse factorielle des Correspondances. *Publ. Lab. J. P. Benzecri, I.S.U.P.*
- BENZECRI (J.P.), et Coll., 1973. — L'analyse des données. Dunod, Paris, 2 vol.
- BONNET (L.), 1966. — Le peuplement thécamoebien des sols du Gabon. *Biol. gabonica*, 2-3, 183-214.
- BONNET (L.), 1969. — Aspects généraux du peuplement thécamoebien édaphique de l'Afrique intertropicale. *Publ. Serv. Cult. Comp. Diam. Angola*, Lisboa, 81, 137-176.
- BONNET (L.), 1976. — Le peuplement thécamoebien édaphique de la Côte d'Ivoire. Sols de la région de Lamto. *Protistologica*, 12 (4), 539-554.
- BONNET (L.), CASSAGNAU (P.) et DEHARVENG (L.), 1976. — Un exemple de rupture de l'équilibre biocénotique par déboisement : les peuplements de Collemboles édaphiques du Piau d'Engaly (Hautes-Pyrénées). *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 13, 337-351.
- BONNET (L.), CASSAGNAU (P.) et TRAVÉ (J.), 1975. — L'écologie des Arthropodes muscicoles à la lumière de l'Analyse des Correspondances. *Oecologia*, 21, p. 359-373.
- CASSAGNAU (P.), 1961. — Ecologie du Sol dans les Pyrénées centrales : les biocénoses de Collemboles. Hermann, Paris, 235 p.

- CHOUARD (P.), 1949. — Coup d'œil sur les groupements végétaux des Pyrénées centrales. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 46, p. 145-148.
- CORDIER (B.), 1965. — L'analyse factorielle des correspondances *Thèse Doct. Spéc. (Math.)*, Rennes, 66 p.
- DIDAY (E.), 1971. — Une nouvelle méthode en classification automatique et reconnaissance des formes : la méthode des « Nuées Dynamiques ». *Rev. Stat. Appl.*, 19 (2), p. 19-33.
- LEBART (L.) et FÉNÉLON (J.P.), 1971. — Statistique et Informatique appliquée. Dunod, Paris.

LES FOURMIS ROUSSES DES BOIS (*FORMICA RUFA*) INDICATEURS BIOLOGIQUES DE DÉGRADATION DES FORÊTS DE MONTAGNE DES PYRÉNÉES ORIENTALES

par Claude TOROSSIAN (1)

Laboratoire d'Entomologie forestière
Université Paul Sabatier, 31077 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

Le travail que nous présentons aujourd'hui constitue une mise au point des principaux résultats obtenus après cinq années de recherches centrées sur le thème de l'étude quantitative et qualitative des populations de fourmis des bois du groupe « *Formica rufa* ». Nous avons mis au point une méthode d'appréciation objective de l'état de dégradation du milieu forestier montagnard en Cerdagne et Capcir, à partir de l'étude de la dynamique des populations ouvrières de *Formica lugubris* espèce dominante dans tout le périmètre considéré. Nous avons chiffré, en quelque sorte, l'intensité des activités de substitution touristique et résidentielle dans ces zones autrefois cultivées selon les principes de l'économie montagnarde traditionnelle.

L'inculture pyrénéenne a fait place à des activités de substitution plus ou moins dégradantes pour le milieu naturel, qui se trouve ainsi à des degrés divers, déséquilibré en proportion directe de l'agression subie. Les fourmis apparaissent comme un indicateur biologique précis de dégradation. 150 hectares de forêt étudiés en détail, nous ont permis tout d'abord d'établir les modalités pratiques de l'application du test et ses limites, puis de le vérifier sur une nouvelle série de localités.

C'est un fait d'observation courante, du moins pour ceux qui ont parcouru la Cerdagne et le Capcir, que le dernier quart de siècle a vu se développer dans

SUMMARY

In this work we describe the results of five years analytical research on populations of the "*Formica rufa*" ant group. We have devised and tested a new method for estimating the level of human aggression in the forests of south Pyrenean mountains (mainly Cerdagne, Capcir and Donezan). Several years ago, these countries lived on their agricultural resources. More recently the agricultural aspects began to decrease while in the same time, touristical activities began to increase. Unfortunately, the addition of these two effects, lack of cultivation and development of touristical activities, strongly degrades this environment. We have shown that a direct relation links together the abundance of red wood ant populations and the amount of degradation of some Pyrenean landscapes. In this way, ant nests of the *Formica rufa* group, and more specially *Formica lugubris*, are useful biological indicators (our studies have been conducted on more than 150 ha. of Pine forest, dominated by *Formica lugubris*). We have also approach several biological and ecological problems regarding the dynamical behaviour of red wood ants, faced with a human aggression in the south Pyrenean forests.

certaines régions une régression du nombre et surtout de la puissance des nids de *Formica rufa* (fourmis rousses des bois).

(1) avec la collaboration technique de M^{lle} L. ROQUES (et l'aide de MM. BOUYOU et GREPIN pour les campagnes de prélèvements).

Les dômes établis par ces insectes sont un élément caractéristique du paysage forestier montagnard, au point que leur raréfaction, voire leur disparition, est plus ou moins nettement perçue comme un facteur de trouble de certains paysages cerdans, et que le visiteur peut les rapprocher de la puissante emprise touristique et résidentielle qui se manifeste dans certaines régions, telles que Font-Romeu, les Angles...

Nous avons donc essayé dans un premier temps de définir les caractères de la biocoénose myrmécologique forestière; dans un deuxième temps de préciser les relations possibles entre le milieu plus ou moins perturbé et sa faune résiduelle de fourmis; enfin, nous avons cherché à mettre au point le test « *Formica rufa* » pour quantifier l'ensemble des actions traumatiques du milieu forestier naturel qui s'expriment par les activités de substitution touristique-résidentielle dans ces sites privilégiés d'inculture pyrénéenne.

MÉTHODOLOGIE

Nous avons entrepris une série de recherches axées sur plusieurs thèmes : — étude des biotopes myrmécologiques forestiers, et des conditions écologiques de peuplement des fourmis forestières — étude biogéographique visant à préciser la distribution spatiale et temporelle des fourmis du groupe *Formica rufa* (étude « qualitative ») — étude quantitative du peuplement de fourmis de certaines zones test bien choisies. Pour chacun de ces trois axes de recherches, nous avons été amenés à développer une méthodologie parfois originale, qui fera l'objet d'une mise au point ultérieure.

Le premier axe de recherches fait l'objet de travaux de longue durée qui font suite aux travaux classiques

des Ecoles germano-italiennes (cf. GOSSWALD, WELLENSTEIN, KNEITZ, PAVAN, RONCHETTI, et leur Coll. in COTTI (1964), ROQUES (1975). Nos propres recherches dans ce domaine concernent l'étude des facteurs écologiques qui conditionnent le peuplement des espèces du groupe étudié, en particulier les incidences du peuplement botanique forestier (strate arborescente, et herbacée), le microbiote, et plus particulièrement l'énergie rayonnée et la valeur de l'ensoleillement au niveau des nids (hémisphérophotographies et héliogrammes à la latitude des stations étudiées).

Dans le deuxième axe de recherches nous avons défini (étude biogéographique) une méthode de détermination des espèces d'après des prélèvements d'ouvreries, BETREM (1960), (1964), et développé des recherches personnelles en microscopie électronique à balayage sur les ouvreries de ce groupe, TOROSSIAN, ROQUES (1975), (1976), ROQUES (1975). Nous avons ensuite entrepris les études de la faune de fourmis du sous-bois selon les méthodes classiques d'étude de la faunistique (carrés de 10 m de côté), et la répartition biogéographique des fourmis du groupe *Formica rufa*, par des prélèvements systématiques de toutes les colonies rencontrées à l'intérieur de zones soigneusement délimitées et cartographiées (nous apprécions simultanément les 2 aspects qualitatif et quantitatif).

L'étude quantitative : tous les nids rencontrés sont soigneusement fichés et recensés (notation de renseignements d'ordre géographique, écologique, botanique...). Nous déterminons par pseudo-photogrammétrie le profil exact et coté du nid en figurant les accidents de terrain, ou de végétation (souche...). Dans une étape ultérieure, au laboratoire, nous reconstituons le morphotype de la colonie, dont nous calculons le volume selon la méthode déjà exposée (TOROSSIAN, 1974; ROQUES, 1975). Nous estimons ainsi avec la meilleure précision possible

PLANCHE I

Une zone récemment aménagée en vue de la pratique des sports d'hiver (Formiguères II : région de « Calmazillé »).

Cl. C. TOROSSIAN



PLANCHE I

le volume exact de chaque nid, malgré la grande variété morphologique des profils et les accidents de terrain. Les colonies sont ensuite analysées mathématiquement, et regroupées en classe de volume (de quelques centaines de centimètres cube à plusieurs mètres cube). L'étendue de la distribution obtenue nous a imposé le choix d'une progression géométrique.

CADRE GÉOGRAPHIQUE

Les zones étudiées ont été définies lors des réunions de travail du groupe D.G.R.S.T., *Inculture pyrénéenne*. Plusieurs secteurs ont été prospectés.

● *Région d'Osséja*. — Il s'agit de 27 ha de forêt du bois des Couronnes (zone de la haute forêt d'Osséja), qui n'ont fait l'objet jusqu'à ces derniers mois d'aucune emprise humaine importante. Seule une route forestière traverse cette zone calme et tranquille qui constituera notre zone témoin, remarquable par son éloignement relatif des centres touristiques les plus courus (Font-Romeu, les Angles, Formigüères...). A partir de cette zone témoin, nous comparerons et chiffrerons les variations qualitatives et quantitatives du peuplement myrmécologique forestier des autres stations.

● *Région de Formigüères*. — Nous avons prospecté plusieurs secteurs autour de Formigüères : — Forêt de La Matte (Formigüères I), dont nous avons initialement étudié 20 ha. Cette vieille et très belle forêt est intéressante à considérer; elle marque un terme moyen dans l'agression touristique, l'emprise humaine s'y manifeste sous sa forme la plus

bénigne de piétinement touristique (tourisme saisonnier estival, promeneurs, campeurs, pique-niqueurs...). — Région dite « lotissement-camping » (Formigüères II), dans cette zone qui fait suite directement au premier lotissement communal, le piétinement humain est beaucoup plus accusé : en bordure du torrent de La Lladure, dans une zone forestière, est aménagée une aire de camping du type « sauvages » d'un périmètre assez mal défini. — Région de la « Calmazeille-Ski » (Formigüères III), une zone importante de belles forêts centrée autour de la Fontaine de Calmazeilles fait actuellement l'objet d'une exploitation plus intensive. La partie supérieure est surtout aménagée pour le ski (pistes, remontées mécaniques), la zone inférieure est affectée à l'édification de résidences secondaires (2^e lotissement communal). Ces zones sont particulièrement intéressantes à surveiller car le processus de dégradation amorcé en 1970-71 en est à sa phase initiale. L'évolution dynamique de la faune myrmécologique s'annonce donc intéressante à suivre.

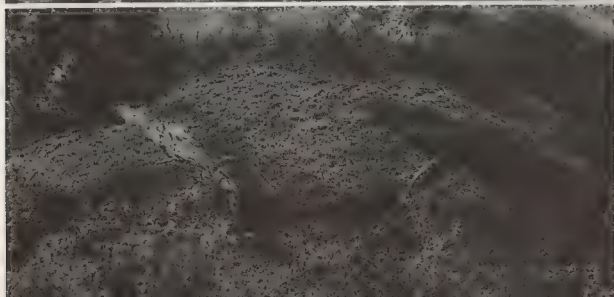
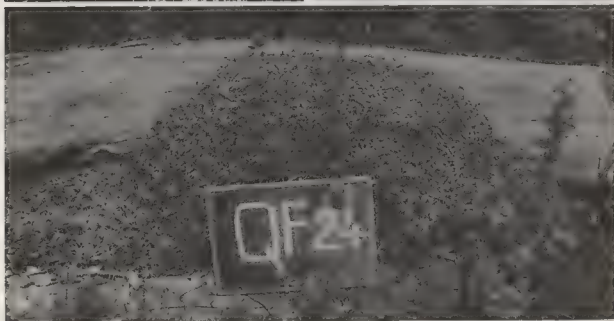
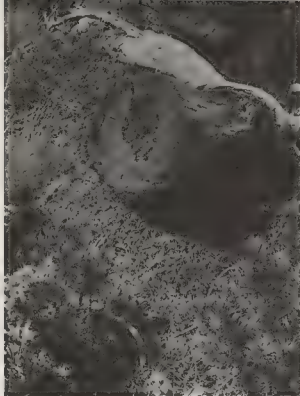
● *Région de Font-Romeu*. — C'est une zone caractérisée de manière évidente par un stade avancé de la dégradation du milieu naturel. Nous avons prospecté 37 ha de forêts situées autour du Belvédère d'une part, et de la zone des Airelles d'autre part. Dans ces deux régions l'agression humaine est marquée par quelques constructions et surtout par l'implantation d'un dense réseau de pistes de ski avec tout leur cortège de remontées mécaniques, qui tracent autant de saignées dans la forêt. Il faut signaler également un important tourisme estival (pique-niqueurs, campeurs, promeneurs...).

● *Région des Angles*. — La physionomie de cette zone est apparemment voisine de celle des environs

PLANCHE II

Quelques nids de *Formica lugubris* :

- en haut : petits nids dans la région de Font-Romeu;
- au milieu : nid moyen dans la forêt des Hares, Querigut;
- en bas : nid de plus fort volume de la forêt d'Osséja.



de Font-Romeu; l'agression humaine (résidences secondaires, pistes de ski, urbanisation très intense), est ici aussi très marquée. Nous avons prospecté 5 ha environ.

● *Forêt des Hares (Quérigut)*. — Enfin, nous avons pensé qu'il serait intéressant d'étudier avec les mêmes méthodes cette région voisine, bien que géographiquement et écologiquement très différente (car située dans le Donezan). Cette belle forêt se situe à une altitude moyenne légèrement inférieure (1 500-1 600 m), et elle est essentiellement constituée par du sapin, alors que dans toutes les autres zones forestières étudiées, les pins (pin à crochets, pin sylvestre) dominent très largement. Remarquons cependant que la forêt des Hares est tout comme la forêt d'Osseja une zone calme, où l'emprise humaine très faible, se manifeste sous la seule forme d'un faible tourisme saisonnier (estival essentiellement).

Les 7 stations précédemment définies ont été étudiées en 2 campagnes de prospection. Le tableau suivant récapitule les stations prospectées, leur superficie, et le nombre de nids rencontrés. Les résultats obtenus seront présentés en respectant l'ordre chronologique; nous aborderons donc successivement la première et la deuxième série de travaux, nous comparerons et discuterons ensuite les résultats obtenus, et nous dégagerons en conclusions les caractères et l'intérêt du test proposé.

TABLEAU I

Tableau récapitulatif des surfaces prospectées.

Localités	(en ha)	de nids	
Première Campagne :			
Font-Romeu	37,37	163	920 nids/84,40 ha
Formigüeres I	20,00	328	
Osseja	27,00	429	
Deuxième Campagne :			
Quérigut	46,90	84	514 nids/71 ha
Les Angles	4,70	95	
Formigüeres II	4,40	74	
Formigüeres III	11,00	261	

PREMIÈRE SÉRIE DE TRAVAUX

ETUDE QUALITATIVE DES PRÉLÈVEMENTS.

Rappelons que parmi les 8 espèces qui composent le groupe *Formica rufa*, seules les formes suivantes sont susceptibles de se rencontrer dans nos régions méridionales (ROQUES, 1975), *Formica pratensis* Retz, *Formica nigricans* Em., *Formica lugubris* Zett., *Formica rufa* L., *Formica aquilonia* Yarr., *Formica polyctena* Forst.

Sans publier l'analyse détaillée des centaines de prélèvements effectués (ROQUES, 1975), il apparaît que l'espèce dominante à Font-Romeu, Osseja et Formigüeres I, est *Formica lugubris* Zett. Nous avons obtenu les résultats suivants :

— <i>Formica lugubris</i>	91,80 %
— <i>Formica nigricans-pratensis</i>	1,82 %
— <i>Formica execta</i>	1,22 %
— espèces indéterminables	5,17 %

L'espèce *Formica lugubris* avec 92 % est donc l'unique représentante du groupe. En admettant, selon toute vraisemblance, la même proportion (soit les 9/10), en sa faveur dans les indéterminés, sa population varie donc entre 92 % et 97 %. *Formica execta*, et *Formica nigricans-pratensis* sont des espèces épisodiques, rares et localisées.

ETUDE QUANTITATIVE.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau II. Rappelons que les prélèvements sont répartis en classe de volume, selon une progression géométrique; pour comparer les prélèvements réalisés sur des superficies différentes, nous faisons intervenir les fréquences absolues corrigées. A partir de ces données nous avons tracé l'histogramme de la Fig. 1.

TABLEAU II

Tableau exprimant la répartition des fréquences absolues et relatives pour les trois forêts étudiées.

Légende : f1 = fréquence absolue, f2 = fréquence absolue corrigée, f3 = fréquence relative.

	FONT-ROMEUE			LA MATTE			OSSEJA		
Volume des nids en cm ³	f1	f2	f3	f1	f2	f3	f1	f2	f3
0-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000-2000	2	2	1,23	1	1,87	0,30	0	0	0
2000-4000	4	4	2,45	0	0	0	1	1,38	0,23
4000-8000	17	17	10,43	7	13,09	2,13	2	2,76	0,47
8000-16000	10	10	6,13	16	29,92	4,88	3	4,14	0,70
16000-32000	24	24	14,72	31	57,97	9,45	8	11,04	1,86
32000-64000	44	44	26,99	93	173,91	28,35	69	95,22	16,08
64000-128000	30	30	18,40	85	158,95	25,91	97	133,86	22,61
128000-256000	27	27	16,56	68	127,16	20,73	114	157,32	26,57
256000-512000	4	4	2,45	24	44,88	7,32	65	89,70	15,15
512000-1024000	1	1	0,61	2	3,74	0,61	49	67,62	11,42
1024000-2048000	0	0	0	1	1,87	0,30	17	23,46	3,96
2048000-4096000	0	0	0	0	0	0	4	5,52	0,93
	163	163		328	613,36		429	592,02	

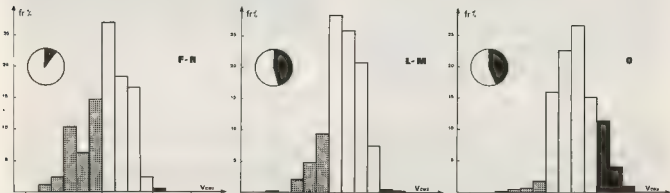


FIG. 1. — Histogrammes de la répartition des nids, pour chacune des trois stations étudiées (en pointillés les « petits nids », en blanc les « nids moyens », en noir les « gros nids »).

Les types de nids étudiés. — Tous les nids de *Formica lugubris* n'ont évidemment pas la même signification écologique; la très grande variabilité du volume des nids traduit cette différence. Nous conve-

nons de définir trois types de nids de signification écologique bien marquée. Nous parlerons donc de — « petit nid » pour les nids des 6 premières classes dont le volume est compris entre 0 et

32 000 cm³. Les dimensions extrêmes sont donc de l'ordre de 20 cm de diamètre $\times$ 7 cm de hauteur ($V = 1\,078\text{ cm}^3$), jusqu'à 60-70 cm de diamètre $\times$ 20 cm de hauteur ($V = 30\,000\text{ cm}^3$); — « nid moyen » ce sont des colonies dont le dôme varie entre 60 $\times$ 20 cm et 140-150 $\times$ 60 cm, soit de 32 000 à 520 000 cm³; — « gros nid », leur volume est supérieur à 512 000 cm³. Ecologiquement, ce sont les nids importants, par le nombre d'ouvrières (200 000 à plusieurs millions). Les dimensions sont voisines de 2,50 m de diamètre $\times$ 50 cm ($V = 523\,000\text{ cm}^3$) jusqu'à 250 $\times$ 100 cm ($V =$ supérieur à 3 m³) pour les plus gros nids rencontrés.

Si l'on considère les trois types de nids ainsi définis, la distribution des fréquences relatives pour chacune des stations peut se résumer comme suit :

	Petits nids	Nids moyens	gros nids
Font-Romeu	34,96 %	64,40 %	0,61 %
La Matte	16,76 %	82,31 %	0,91 %
Osseja	3,26 %	80,41 %	16,31 %

En fonction des « petits nids », le classement des stations est donc : Font-Romeu > La Matte > Osseja. En fonction des « gros nids » de volume supérieur à 512 000 cm³, le classement s'inverse en faveur d'Osseja : Osseja > La Matte > Font-Romeu. L'analyse des « nids moyens » révèle au contraire une identité entre les trois stations (les résultats obtenus ne présentent pas de différences significatives).

Etude de la densité des nids par stations. — Connaissant la quantité des nids recensés globalement dans une station, et la superficie explorée, nous avons pu établir la densité générale pour les stations considérées. Les résultats obtenus sont les suivants :

- densité totale pour Font-Romeu 4,36 nids/ha
- densité totale pour La Matte 16,40 nids/ha
- densité totale pour Osseja 15,89 nids/ha

Ces résultats indiquent déjà que les forêts de Font-Romeu sont globalement quatre fois plus pauvres en nids de fourmis que les forêts de La Matte et d'Osseja qui ont une densité de nids comparable.

Toutefois, il nous a paru intéressant de compléter cette première étude par l'analyse fine de la densité par classe de volume, donc par type de nid, et par station. Nous obtenons la répartition suivante :

Nbre de Nids à l'ha	Petits nids	Nids moyens	Gros nids
Font-Romeu	1,52	2,80	0,02
La Matte	2,75	13,50	0,15
Osseja	0,51	12,77	2,59

Ces résultats intéressants révèlent qu'une même densité globale de 16 nids/ha représente en fait un peuplement myrmécologique fondamentalement différent, car dominé par les moyens et petits nids à La Matte, et par les moyens et gros nids à Osseja. Le phénomène nouveau est donc l'apparition significativement différente des gros nids à Osseja (2,6 nids/ha, contre 0,15 et 0,02 respectivement à La Matte et à Font-Romeu).

Etude de la masse totale de fourmis (par station). — Après avoir discuté le nombre, la puissance, et la densité des nids, nous avons complété notre analyse du peuplement, par l'estimation de la masse globale de fourmis par station. Nous avons donc totalisé le volume de tous les nids en considérant les trois catégories pour les trois stations. Nous déduisons ensuite le volume moyen par station ($V_m =$ volume total/nombre de nids) :

— Font-Romeu :

$$V_m = 12\,493\,755/163 = 76\,648,8\text{ cm}^3 \text{ soit } 0,077\text{ m}^3.$$

— La Matte :

$$V_m = 35\,822\,263/328 = 109\,214,2\text{ cm}^3 \text{ soit } 0,109\text{ m}^3.$$

— Osseja :

$$V_m = 121\,838\,171/429 = 284\,005,0\text{ cm}^3 \text{ soit } 0,284\text{ m}^3.$$

Ces résultats démontrent l'enrichissement progressif en fourmis, lorsque nous passons des forêts de Font-Romeu à celles d'Osseja. L'augmentation du volume moyen des nids d'une part, et la densité des nids d'autre part, souligne avec plus de force la pauvreté du peuplement en fourmis rousses des forêts de Font-Romeu.

Calcul du peuplement à l'hectare. — Nous comptons cette série de données qualitatives et quantitatives par l'estimation de la densité du peuplement en fourmis par unité de surface pour chacune des trois stations étudiées. Nous obtenons ainsi le volume à l'hectare (vol/ha = volume total/surface) :

— Font-Romeu :

Vol/ha = $12\,493\,755/37,7 = 334\,325\text{ cm}^3$
soit $0,3\text{ m}^3$.

— La Matte :

Vol/ha = $35\,822\,755/20 = 1\,781\,113\text{ cm}^3$
soit $1,8\text{ m}^3$.

— Osseja :

Vol/ha = $121\,838\,171/27 = 4\,512\,524\text{ cm}^3$
soit $4,5\text{ m}^3$.

Discussion. — La comparaison de ces séries concordantes de résultats, souligne avec force le caractère différent des trois stations, que ce soit sur le plan du volume moyen des nids, de leur fréquence, de leur densité, ou du peuplement global à l'hectare. Les résultats obtenus paraissent suffisamment démonstratifs en eux-mêmes. Il y a finalement en moyenne 2,5 fois plus de fourmis dans la forêt d'Osseja que dans la forêt de La Matte, et 15 fois plus de fourmis à Osseja qu'à Font-Romeu. La comparaison La Matte-Font-Romeu fait apparaître de même un peuplement 6 fois plus important à La Matte.

DEUXIÈME SÉRIE DE TRAVAUX

ÉTUDE QUALITATIVE DES PRÉLÈVEMENTS.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

— *Formica lugubris* 91,85 %
— *Formica nigricans-pratensis* 1,09 %
— *Formica exsecta* 1,09 %
— indéterminables 5,98 %

Ces valeurs remarquablement constantes soulignent avec force l'identité absolue du peuplement dans les 7 stations étudiées de la Cerdagne, du Capcir et du Donezan. Elles établissent la domination

écrasante de l'espèce *Formica lugubris* et la rareté des autres espèces du groupe. Nos résultats précisent enfin ceux obtenus par nos collègues allemands, lors d'enquêtes préliminaires dans lesquelles ils ont noté une fréquence élevée de l'espèce *F. lugubris* dans cette région des Pyrénées (KNEITZ, EMMERT, 1962).

ÉTUDE QUANTITATIVE.

La répartition des nids en fonction de leur volume, fait apparaître les résultats suivants (cf. tableau III), à partir desquels nous pouvons tracer les histogrammes de la répartition des nids (cf. figure 2).

Les mêmes méthodes que précédemment nous amènent ici aussi à définir 13 classes de prélèvements, et à parler de « petits nids », « nids moyens » et « gros nids ».

Analyse des résultats. — Nous avons cherché tout d'abord à donner une vision globale du peuplement myrmécologique dans les quatre stations, ce qui nous conduit à considérer le tableau récapitulatif suivant :

— Quérigut 2,8 %
— Les Angles 32,3 %
— Formigüères I 26,3 %
— Formigüères III (Ski) 37,9 %

Ces résultats suffisamment éloquentes par eux-mêmes suggèrent dès à présent l'existence de deux types de peuplements : Quérigut d'une part, et les trois autres stations d'autre part (nous reviendrons plus longuement sur cette hétérogénéité que nous tenions à souligner dès à présent). Les distributions sont régulières pour toutes les stations sauf peut-être pour Quérigut, dont la myrmécofaune offre un caractère spécial en raison de la pauvreté intrinsèque du peuplement en dépit des 46 ha explorés. La distribution des fréquences relatives pour chaque station peut se résumer dans le tableau ci-dessous :

stations	p.n. : %	m.n. : %	g.n. : %	
Quérigut	38,10	54,76	7,14	100
Les Angles	52,63	46,32	1,05	100
Formigüères II	27,03	72,97	0,00	100
Formigüères III	33,33	63,60	3,07	100

TABLEAU III

Distribution des nids en fonction du volume.

Légende. f1 = fréquence absolue, f2 = fréquence absolue corrigée, f3 = fréquence relative exprimant le pourcentage des nids dans la station considérée, f4 = fréquence relative exprimant le pourcentage des nids par rapport à la totalité des prélèvements de cette deuxième campagne.

	QUÉRIGUT				LES ANGLÉS				FORMIGUÈRES II				FORMIGUÈRES III			
	f1	f2	f3	f4	f1	f2	f3	f4	f1	f2	f3	f4	f1	f2	f3	f4
0 - 1000	4	4,26	4,76	0,14	3	31,91	3,16	1,02	0	0,00	0,00	0,00	1	4,54	0,38	0,15
1000 - 2000	0	0,00	0,00	0,00	2	21,27	2,11	0,68	1	11,36	1,35	0,36	0	0,00	0,00	0,00
2000 - 4000	9	9,59	10,71	0,31	6	63,83	6,32	2,04	2	22,72	2,70	0,73	10	45,45	3,83	1,45
4000 - 8000	9	9,59	10,71	0,31	7	74,47	7,37	2,38	4	45,45	5,41	1,45	14	63,63	5,36	2,04
8000 - 16000	4	4,26	4,76	0,14	15	159,57	15,79	5,10	3	34,09	4,05	1,09	33	150,00	12,64	4,80
16000 - 32000	6	6,39	7,14	0,20	17	180,85	17,09	5,78	10	113,63	13,51	3,63	29	131,82	11,11	4,22
32000 - 64000	14	14,92	16,67	0,48	17	180,85	17,09	5,78	14	159,09	18,92	5,09	46	209,09	17,62	6,69
64000 - 128000	10	10,66	11,90	0,34	17	180,85	17,09	5,78	21	238,63	28,38	7,63	57	259,09	21,84	8,29
128000 - 256000	12	12,79	14,29	0,41	7	74,47	7,37	2,38	13	147,72	17,57	4,72	41	186,36	15,71	5,96
256000 - 512000	10	10,66	11,90	0,34	3	31,91	3,16	1,02	6	68,18	8,11	2,18	22	100,00	8,43	3,20
512000 - 1024000	4	4,26	4,76	0,14	1	10,64	1,05	0,34	0	0,00	0,00	0,00	7	31,82	2,68	1,02
1024000 - 2048000	2	2,13	2,38	0,07	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	1	4,54	0,38	0,15
2048000 - 4096000	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
Σ f1	84				95				74				261			
Σ f2		89,51				1010				840,87				1186,34		
Σ f4				2,88				32,30				26,88				37,97

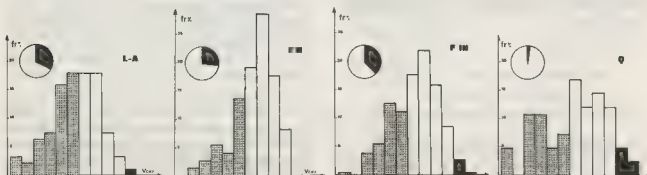


FIG. 2 — Histogramme de la répartition en volume des nids, pour chacune des 4 stations de la deuxième campagne de prélèvements (petits nids en pointillé, nids moyens en blanc, gros nids en noir).

Quérigut : avec 38 % les « petits nids » sont assez bien représentés; les « nids moyens » dominent avec 55 %, les « gros nids » sont représentés par un pourcentage appréciable de 7,14 %. Cette distri-

bution ne peut certes pas se comparer à la distribution « témoin » d'Osseja, mais s'en rapproche notablement par sa fréquence relative en « gros nids ».

Les Angles : la distribution des nids apparaît dans ce secteur comme étant la plus perturbée des 7 zones de prélèvements, on note en effet 53 % de « petits nids » pour 46 % de « nids moyens », et seulement 1 % de « gros nids ». (Cette valeur de 1 % représente en fait une seule colonie ayant échappée exceptionnellement au processus de dégradation — pour un temps sans doute —), d'autre part cette colonie est manifestement âgée, et présente les symptômes indiscutables pour le myrmécologue d'un état de souffrance. La fréquence relative des deux catégories « petits nids » et « nids moyens », est donc approximativement identique. Ceci est significatif d'une région très fortement agressée, dont le peuplement myrmécologique apparaît dès à présent comme insuffisant. Cette carence peut provenir soit d'une régression marquée d'un peuplement initial plus important, soit de la limitation de croissance d'une population myrmécologique potentielle riche, dont l'expansion est entravée par un facteur extérieur...

Formiguères II (Camping-Lotissement), et Formiguères III (Ski) : ces stations présentent un certain nombre d'affinités et quelques dissemblances. Parmi ces dernières, il nous faut noter pour Formiguères III la présence significative d'un contingent de gros nids (3,07 %) alors que la zone du Lotissement dans laquelle l'emprise humaine (résidences secondaires + camping) est plus profondément marquée et plus ancienne, n'en compte aucun. Les nids moyens sont représentés de manière à peu près homogène dans les deux stations, (64 % et 73 %) par un pourcentage très élevé. Les fréquences relatives des petits nids sont elles aussi comparables et se situent autour de 30 %. Nous discuterons spécialement le cas de Quérigut qui doit être dissocié des précédents. Les trois autres stations font donc apparaître la classement suivant : Formiguères III > Formiguères II > Les Angles.

Les deux stations Formiguères II et III paraissent donc assez proches. Cette constatation n'a rien de fondamentalement surprenant : les deux zones considérées sont en effet des forêts dans lesquelles la pression humaine se fait sentir depuis quelques an-

nées seulement. Autrefois « zones sauvages » exemptes de toutes activités touristiques, elles gardent encore — pour un temps — le souvenir de ce passé non perturbé dans leur faune de fourmis.

Etude de la densité des nids par stations. — La connaissance du nombre de nids et de la surface des zones prospectées, nous a permis d'établir la densité du peuplement en fourmis forestières.

— *Densité globale* (sans distinction des différents types de nids) : Quérigut 1,8; Les Angles 20,2; Formiguères II 16,8; Formiguères III 23,7. Ces résultats soulignent à nouveau le caractère particulier du peuplement de Quérigut, ainsi que l'homogénéité relative des trois autres stations. A ce propos, il convient de remarquer la densité élevée des Angles (20,2).

— *Densité des trois types de nids par station.* — Pour essayer de comprendre les anomalies « apparentes » de la distribution précédente, nous avons procédé à une analyse plus fine, faisant apparaître les densités par type de nids pour une même station. Le tableau suivant récapitule les densités par stations et par types de nids :

	p.n. %	n.m. %	g.n. %
Quérigut	0,68	0,98	0,13
Les Angles	10,64	9,36	0,13
Formiguères II	4,55	12,27	0,00
Formiguères III	7,90	15,09	0,73

La densité élevée des Angles s'explique mieux maintenant : plus de la moitié des colonies ont en fait un volume inférieur à 32 000 cm³. Ces « petits nids » sans valeur écologique réelle sont comptés dans un premier temps comme unité à part entière, et viennent naturellement fausser l'appréciation que l'on peut porter sur un tel peuplement. Les autres résultats confirment les conclusions précédentes. La catégorie « nids moyens » augmente progressivement dans la série : Quérigut — Les Angles — Formiguères II — Formiguères III... La catégorie « gros nids », insignifiante dans les trois

premières stations devient relativement abondante à Formigüères III avec près de 1 nid/ha. La forêt des Couronnes à Osseja apparaît à cet égard comme exceptionnelle avec une densité de 2,6 nids/ha, car même en petit nombre, ce type de colonie représente une valeur écologique non négligeable, leur capacité étant supérieure à un demi m³ !

Etude de la masse totale de fourmis. — Nous complétons nos analyses précédentes par l'estimation de la biomasse des fourmis. La totalité de notre information est récapitulée dans le tableau suivant (cf. Tableau IV) dans lequel nous avons figuré les volumes par catégories de nids et par stations, les fréquences absolues, et les superficies explorées.

TABLEAU IV
Volume total par type de nid et par station.

	QUÉRIGUT	LES ANGLÉS	FORMIGÜÈRES II	FORMIGÜÈRES III	
PETITS NIDS	278923,09 (32)	659799,34 (50)	278420,66 (20)	1200310,56 (87)	2417453,65 (189)
NIDS MOYENS	7593956,24 (46)	4602171,68 (44)	6395379,71 (54)	24108593,24 (166)	42701201,07 (310)
GROS NIDS	5339029,56 (6)	657761,40 (1)	0 (0)	6122827,30 (8)	12115716,26 (15)
Vol. total	13209000,89	5919832,62	6673800,37	31431731,10	57234372,96
Vol. moyen	157250,11	62314,03	90186,49	120428,09	
Total nids	84	95	74	261	
Superficie	46,9 ha	4,7 ha	4,4 ha	11 ha	
Vol./ha.	281641,90	1259538,66	1516772,81	2857430,10	

L'analyse de ce tableau va nous permettre de préciser le volume moyen des nids par station de prélèvements (V_m = Volume total en cm³/nombre de nids), nous obtenons donc :

— Quérigut :

$$V_m = 13\,209\,000/84 = 157\,250 \text{ cm}^3 \\ \text{soit } 0,157 \text{ m}^3.$$

— Les Angles :

$$V_m = 5\,919\,830/95 = 62\,314 \text{ cm}^3 \\ \text{soit } 0,062 \text{ m}^3.$$

— Formigüères II, (Lotissement) :

$$V_m = 6\,673\,800/74 = 90\,190 \text{ cm}^3 \\ \text{soit } 0,090 \text{ m}^3.$$

— Formigüères III :

$$V_m = 31\,431\,700/261 = 120\,430 \text{ cm}^3 \\ \text{soit } 0,120 \text{ m}^3$$

Ces valeurs soulignent toujours le caractère spécial de la faune de Quérigut, dont la puissance moyenne des nids paraît normale comparée à celle des nids de La Matte (0,109 m³) et de la forêt d'Osseja (0,284 m³). La proportion élevée des grosses colonies, 7 % de son ensemble, explique ce résultat. La station des Angles comparée aux deux stations de Formigüères arrive en dernière position.

Le peuplement à l'hectare. — Pour retrouver dans cette série de données une estimation quantitative, ayant une valeur écologique, nous avons quantifié le peuplement à l'hectare, qui traduit la véritable

occupation du sol forestier par les fourmis, Vol/ha. = volume total en cm³/superficie en ha.

— Quérigut : = $13\,209\,000/47 = 281\,642$ cm³ soit 0,281 m³.

— Les Angles : = $5\,919\,830/4,7 = 1\,259\,500$ cm³ soit 1,260 m³.

— Formiguères II : = $6\,673\,800/4,4 = 1\,516\,770$ cm³ soit 1,516 m³.

— Formiguères III : = $31\,431\,700/11 = 2\,857\,430$ cm³ soit 2,857 m³.

Discussion. — Rappelons que cette même étude avait donné respectivement 0,3 m³, 1,8 m³, 4,5 m³ à Font-Romeu, Formiguères I (La Matte) et Osseja. Comparé à ces résultats, nous ne pouvons que souligner le caractère très « deshérité » de la forêt des Hares à Quérigut, lorsque l'on considère la population de fourmis par unité de surface. D'autre part, la forêt des Angles paraît mieux pourvue en fourmis que la forêt de Font-Romeu, les stations Formiguères I et II sont assez comparables, quant à Formiguères III, elle domine nettement les autres stations, sans toutefois approcher Osseja.

DISCUSSION GÉNÉRALE, CONCLUSIONS

On sait notamment par les Ecoles allemandes (GOSSWALD, GOSSWALD et Coll., loc. cit.), et italiennes (PAVAN, PAVAN et Coll., loc. cit.), que les fourmis ont un rôle de protection des forêts montagnardes de l'Europe. Ces auteurs estiment généralement qu'une densité de 3 à 6 nids par hectare permet une protection efficace de la forêt contre les nombreux ennemis (arthropodes et insectes xylophages) qui la détruisent plus ou moins directement. Nous allons donc comparer la densité des colonies dans les différentes stations étudiées et d'après les résultats précédents, déduire en fonction du peuplement moyen à l'hectare, l'équivalent de la totalité du peuplement en colonies de 900 000 cm³, c'est-à-dire ce que la plupart des spécialistes considèrent habituellement comme un « gros nid » (1,50 à 2 m de diamètre, 0,60 à 0,80 m). Un tel profil de nid

correspond à la notion de « gros nid » dans les Pyrénées Orientales (Forêt d'Osseja notamment). Nous avons donc obtenu :

— Font-Romeu	0,3 nids/ha
— Formiguères I (La Matte)	2,0
— Osseja	5,0
— Quérigut	0,3
— Les Angles	1,3
— Formiguères II (Lotissement)	1,7
— Formiguères III (Ski)	3,2

Ces données peuvent être prises en compte comme élément de conclusion. Elles permettent de supposer, qu'au sens habituel de ce terme, c'est-à-dire défini dans l'optique des Ecoles germano-italiennes de myrmécologie, seules les forêts d'Osseja et les forêts situées au voisinage de la Calmazeille (Formiguères III) sont actuellement protégées. Ceci signifie donc, que les populations de *Formica lugubris* sont importantes, et par conséquent que le peuplement dense initial n'a pas encore subi de régressions importantes dues à l'action et à la présence de l'homme (sous l'effet de certaines activités de substitution fortement traumatisantes pour le milieu naturel : résidences secondaires, piétinement touristique, station de ski...). La forêt de La Matte (Formiguères I) et la zone du Lotissement (Formiguères II) avec des taux de 2,0 et 1,7 se situent dans la zone inférieure, proche du seuil de protection (3 nids/ha). Cela signifie donc que les peuplements myrmécologiques sont indiscutablement perturbés par des facteurs extrinsèques, et que ces modifications apportent un frein à l'expansion naturelle des nids, qui restent au stade « nid moyen », et ne parviennent que très exceptionnellement au stade « d'épanouissement » normal de la colonie, c'est-à-dire le nid de volume supérieur de 0,5 m³ que nous avons appelé « gros nid ». Une preuve supplémentaire, et qui nous paraît décisive, nous est également fournie par la fréquence relative élevée des « petits nids » dans le bilan de chaque station considérée séparément et comparée à ses voisines.

Enfin, le troisième groupement fait apparaître, — Les Angles 1,3 nids/ha — Font-Romeu 0,3 nids/ha — Quérigut 0,3 nids/ha. Un tel regroupement brut, permet de dire que, indiscutablement la popu-

lation myrmécologique est insuffisante dans ces trois stations. Toutefois la signification écologique de tels résultats nous paraît évidente et différente. Nous avons souligné plusieurs fois le caractère particulier de la myrmécofaune de Quérigut. Rappelons que malgré la couverture à l'hectare très faible, la répartition est cependant homogène en particulier avec un nombre de « petits nids », « nids moyens » et « gros nids », qui toutes proportions gardées évoque la forêt d'Osseja. Dans ce même ordre d'idée, la proportion de « gros nids » nous paraît particulièrement significative.

Si Quérigut était une station en état de souffrance véritable, nous ne devrions pas trouver de « gros nids », et un nombre aussi faible de « petits nids ». L'explication du faible peuplement doit donc être recherchée ailleurs : la zone explorée (46 ha), est en fait une zone relativement peu élevée (1 500-1 600 m d'altitude), et le peuplement végétal est dominé dans toutes les zones prospectées par le sapin. Partout ailleurs (Osseja, Formiguères...) les forêts sont essentiellement plantées en pins. Il est de notoriété « botanique » et héliographique (cf. ROUSSEL, 1972), que le sapin entretient un couvert dense, profond, plus sombre qu'un peuplement en pin à crochets, beaucoup plus aéré et plus clair. On sait par ailleurs, que les fourmis des bois en particulier *Formica lugubris*, bien que sylvicoles strictes, sont des espèces qui se développent bien en sous-bois clair offrant un ensoleillement important. C'est précisément ce que nous avons rencontré à Quérigut, zone de très belle forêt dense : à l'intérieur du sous-bois nous n'avons pratiquement pas trouvé de fourmillières, que se trouvent localisées géographiquement dans des zones plus perméables à la lumière, en bordure ou dans les rares clairières de ce beau peuplement.

La signification écologique du « test fourmi » ne se trouve donc pas remise en cause, mais bien précisée et confirmée par cette apparente contradiction qui ne résiste pas à l'analyse de terrain. En revanche, les Angles (1,3) et Font-Romeu (0,3) sont constituées par un peuplement résiduel de pins à crochets, et ce qu'il reste d'arbres dans ces localités après les différentes saignées forestières, permet un ensoleillement surabondant. Le très grand nombre de « petits nids »

ne peut donc s'expliquer ici que par l'intense présence humaine, modificatrice et perturbatrice du milieu naturel, c'est-à-dire des paysages forestiers. L'absence de « gros nids » est tout à fait significative à cet égard sur les plans entomologiques et écologiques. Ces deux zones sont donc très gravement atteintes et une pratique raisonnable de l'urbanisation nous paraît devoir s'imposer dans ces régions à très forte vocation touristique, si l'on désire sauver « ce qui reste » du massacre écologique visible, confirmé et chiffré par le test « *Formica rufa* » que nous avons appliqué avec la plus grande rigueur — et dans un constant souci d'objectivité scientifique — dans les différentes forêts de la Cerdagne, du Capcir et du Donezan.

En conclusion de ces deux séries de travaux de terrain, nous voudrions analyser les critères mis en pratique (au point de vue méthodologique) et discuter les résultats auxquels ils nous ont conduit. C'est en quelque sorte le degré de validité du test, son application à d'autres régions, les études complémentaires qu'il devrait sous-entendre, les conclusions pratiques qu'il permet d'atteindre que nous voudrions dégager.

— *Critique méthodologique.* — Nous avons mis au point et expérimenté en deux phases (qui nous ont conduit à réaliser l'analyse très fine de plus de 150 ha. de forêt diversement situées), un test permettant d'estimer, et de chiffrer la dégradation du milieu forestier naturel. Le test « *Formica rufa* » que nous proposons (cf. TOROSSIAN, 1974, 1975; TOROSSIAN, ROQUES, 1975, 1976; ROQUES, 1975), est fondé sur l'analyse qualitative et quantitative de la faune myrmécologique forestière.

— *Limites d'application du test.* — Pour pouvoir être appliquées rationnellement, certaines conditions écologiques doivent être intégralement et préalablement remplies : ce sont les facteurs qui conditionnent le peuplement naturel des fourmis du groupe *Formica rufa* (cf. GOSSWALD et PAVAN, loc. cit.). Ils tiennent à l'altitude, au type de peuplement végétal, à la température et à l'hypométrie moyenne, c'est-à-dire au microclimat local. Nous voudrions pour

notre part attirer tout spécialement l'attention sur l'importance de l'ensoleillement au niveau du nid, sur l'importance de la végétation herbacée du sous-bois, et sur la fréquence des branches mortes et des détritiques (organiques ou non) que l'on rencontre dans les zones prospectées. Ces facteurs doivent être parfaitement connus et appréciés, car il apparaît déjà que leur importance est grande pour la réussite de la colonisation des fourmis.

L'application du test doit naturellement sous-entendre une certaine identité de ces facteurs de base du peuplement, faute de quoi, les variations naturelles (ou artificielles) des densités de fourmis pourraient interférer et fausser plus ou moins profondément les conclusions que l'on pourrait dégager de l'action modificatrice apportée par l'écosystème humain à la dynamique des populations de fourmis du groupe *Formica rufa* dans le sous-bois pyrénéen. Chaque zone d'étude doit donc être préalablement longuement et finement analysée quant aux paramètres du milieu (macroscopique et microbiotique). Sa surface doit être au minimum de plusieurs hectares (5 à 10 par exemple). Le test *Formica rufa*, compte tenu des limitations que nous venons d'énoncer, s'est révélé un instrument efficace, et de rentabilité sûre, plusieurs fois vérifiée. Le présent travail en apporte la démonstration. Toutefois sa mise en pratique ne saurait évidemment être confiée qu'à des spécialistes myrmécologues qualifiés, ayant une bonne connaissance du terrain et de la biologie fondamentale des fourmis du groupe *Formica rufa*.

Enfin, dans ce domaine particulièrement délicat de l'appréciation objective des facteurs de modifications apportés par l'homme aux écosystèmes naturels, nous voudrions souligner la nécessité d'études de « fond » sur la biogéographie dynamique des espèces du groupe *Formica rufa* dans la chaîne pyrénéenne et sur l'étude de l'action de certains facteurs du milieu (ensoleillement). De telles recherches sont déjà amorcées depuis longtemps dans notre laboratoire, qui nous permettront dans l'avenir de définir et de généraliser la notion de « clignotant » de véritables zones critiques, dans lesquelles les actions de l'homme trop « pesantes » risquent d'entraîner des désordres écologiques irréversibles.

BIBLIOGRAPHIE

- BETREM (J.G.), 1960. — Ueber die Systematik der *Formica rufa* Gruppe. *Tydschr. v. Ent.* 104 (1-2), 51-81.
- BETREM (J.G.), 1964. — Sur la systématique de quelques espèces du groupe *Formica rufa*. *Colona Verde*, 16, p. 84.
- GOSSWALD (K.), 1952. — Ueber die Okologische Bereinigung von Schädlingsspielen im Walde mit Hilfe der roten Waldameise. *Naturwiss.* 39, 97-99.
- GOSSWALD (K.), SCHMIDT (G.), KLOFT (W.), BAGGINI (A.), PAVAN (M.), RONCHETTI (G.), 1961. — Ricerche morfologico-biometriche sulla differenziazione del "gruppo *Formica nigricans*" e sulla sua diffusione in Italia. *Min. Agric. For., Roma, Collana Verde*, 7, 12-27.
- PAVAN (M.), 1960. — Les fourmis dans la défense biologique des forêts. Résultats, programmes d'activité internationale. *Atti riun. Int. Lotta biol. F. rufa*, *Min. Agr. For., Collana Verde*, 7, 148-157.
- KNEFZ (G.), EMMERT (W.A.), 1962. — Waldameisenfunde (Formicidae, gen. *Formica*) im Französischen Zentralmassiv und den Pyrenäen. (*Sonderdruck aus: "Waldhygiene"*, 4 (7-8), S. 220-227.
- ROQUES (L.), 1975. — Etude qualitative et quantitative des fourmis du groupe *Formica rufa* de la Cerdagne et du Capcir. *Thèse 3^{me} cycle*, Toulouse.
- ROUSSEL (L.), 1972. — Photologie forestière. *Masson*.
- TOROSSIAN (C.), 1974. — Les fourmis du groupe *Formica rufa*. Indicateur biologique de l'action dégradante de l'homme sur le milieu forestier montagnard de la Cerdagne et du Capcir. *DGRST Programme Incul-ture pyrénéenne, Documents préliminaires*.
- TOROSSIAN (C.), ROQUES (L.), 1975. — Etude par microscopie électronique à balayage de la morphologie céphalique des ouvrières de fourmis du groupe *Formica rufa*. *Bul. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 111 (3-4), 322-336.
- TOROSSIAN (C.), ROQUES (L.), 1976. — Etude par microscopie électronique à balayage de la morphologie du thorax des fourmis ouvrières du groupe *Formica rufa*. *Bul. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 112 (3-4), 98-108.
- WELLENSTEIN (G.), 1952. — Zur Ernährungsbiologie der roten Waldameise. *Ztschr. Pflanzenzkr.* 59, 430-451.

Une bibliographie plus complète figure dans les Publications de COTTI, 1964, ROQUES, 1975, TOROSSIAN (C.), 1977.

INFLUENCES HUMAINES SUR LE BENTHOS D'UN RUISSEAU DE MONTAGNE DANS LES PYRÉNÉES

par H. DÉCAMPS et J.Y. PUJOL

Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Paul Sabatier,
31077 Toulouse Cedex

RÉSUMÉ

La Lladure subit des perturbations temporaires liées au tourisme d'été et d'hiver. Les fluctuations de l'état de l'eau et du fond sont rapides, dans l'espace et dans le temps, sous l'action combinée des activités humaines et des conditions météorologiques. Les réactions du benthos diffèrent de celles observées en plaine. Pour les cours d'eau de montagne, il est nécessaire d'adopter des tests biologiques plus sensibles que ceux habituellement utilisés.

La plus grande partie de l'eau qui pénètre dans un ruisseau a séjourné plus ou moins longtemps dans le sol et, d'une façon générale, la charge en matières dissoutes et en suspension des milieux aquatiques dépend des conditions géologiques, biologiques et météorologiques de l'ensemble du bassin versant (CURRY, 1972). Dans ces conditions, les transformations subies par une vallée à la suite des activités humaines se répercutent largement sur l'écologie du cours d'eau (LIKENS et al., 1970; WOODALL et WALLACE, 1972; HYNES, 1975).

C'est pourquoi dès 1971 une étude hydrobiologique fut insérée dans le programme *Inculture Pyrénéenne*. En outre, dans une région comme les Pyrénées, le tourisme d'été et d'hiver entraîne des surcroûts de perturbations dans les ruisseaux de montagne. On constate ainsi couramment une surabondance des rejets et l'engorgement saisonnier des stations d'épuration.

SUMMARY

The Lladure undergoes some disturbances connected with summer and winter tourism. The fluctuations in the state of the water and stream bed are rapid in both time and duration under combined action of human activities and weather conditions. The reactions of the benthos differ to those observed in the plains. For mountain streams it is necessary to adopt biological tests more sensitive than those habitually used.

L'étude de la Lladure a été menée sur un cycle annuel dans le but de préciser la nature des perturbations humaines et d'en suivre les effets sur une partie de la communauté benthique : les macro-invertébrés.

1. — STATIONS ET MÉTHODES

La Lladure prend sa source à 2 236 m d'altitude, traverse la forêt domaniale de Coste del Pamm, le village de Formigüères et enfin un plateau herbeux avant de se jeter dans l'Aude à 1 435 m d'altitude (fig. 1). Diverses influences humaines se manifestent dès la sortie de la forêt domaniale :

— détournement d'une partie de l'eau par une conduite forcée,

- étalement près du rivage d'un camping très fréquenté en été,
- construction d'une zone de chalets en bordure,
- traversée du village de Formiguères (400 habitants en 1969),
- réception du rejet de la station d'épuration de ce village,
- traversée d'une zone de pâturages, parcourue par de nombreuses petites rigoles.

La station 1 (1 580 m) est située en amont des influences humaines, la station 2 (1 550 m) entre la zone touristique (camping et chalets) et le village, la station 3 (1 490 m) en aval du village mais en amont du rejet de la station d'épuration, la station 4 (1 480 m) cinquante mètres en aval du rejet de la station d'épuration, les stations 5 (1 470 m), 6 (1 450 m) et 7 (1 440 m) dans la zone de pâturages.

Les prélèvements ont été réalisés à cinq périodes différentes : novembre 1973, avril 1974, juillet 1974, septembre 1974, novembre 1974. Un filet Surber (surface 0,1 m², vide de maille 184 µ) a été utilisé d'une part dans le courant et d'autre part sur le bord dans une zone de courant plus faible ou nul.

2. — PHYSICO-CHIMIE

Les températures de l'eau sont semblables sur l'ensemble des stations pour une même date : 11 ± 1 °C le 10 novembre 1973, $1,5 \pm 0,5$ °C le 18 avril 1974, 5 ± 1 °C le 8 juin 1974, 14 ± 1 °C le 9 juillet 1974, $19,5 \pm 0,5$ °C le 16 août 1974, $11,5 \pm 0,5$ °C le 13 septembre 1974, $4,5 \pm 0,5$ °C le 18 novembre 1974. Les crues sont localisées lors de la fonte des neiges, en mai-juin, et lors des fortes pluies d'automne, en septembre-octobre.

Deux phénomènes expliquent l'évolution spatio-temporelle des phosphates dans la Lladure (fig. 2). D'une part, les rejets de la station d'épuration de Formiguères enrichissent brusquement le milieu en

phosphates à la station 4. D'autre part, en avril, juillet et novembre 1974, la diminution des phosphates est rapide et leur consommation par la communauté amène un retour à des teneurs moins élevées aux stations 6 et 7. Inversement, en novembre 1973 et en septembre, les teneurs en phosphates augmentent encore après la station 5 : à ces périodes, de fortes pluies ont entraîné des phosphates par ruissellement à partir des zones de pâturages.

L'absence d'azote ammoniacal et la présence faible et sporadique de nitrites dans le cours d'eau comme dans l'exutoire de la station d'épuration montrent que la dégradation de la matière organique est satisfaisante. Dans l'ensemble, l'évolution des nitrates (fig. 3) est semblable à celle des phosphates. En aval de la station 4, les nitrates diminuent régulièrement en avril et novembre 1974, signe d'une autoépuration active. En novembre 1973 et en septembre, cette autoépuration est masquée par l'accroissement des apports par ruissellement au niveau des pâturages.

L'alcalinité et la conductivité ne présentent pas d'importantes variations.

Le pourcentage de saturation en oxygène demeure voisin de 100 % pendant le jour, l'agitation des eaux de la Lladure joue un rôle important dans la faible incidence de l'effluent de la station d'épuration sur l'oxygénation du milieu. Cependant, les mesures faites en pleine eau reflètent mal l'oxygénation près du fond telle qu'elle est subie par les invertébrés benthiques. Ainsi, à la station 4, si en avril le fond est comparable à celui des autres stations, en septembre, il est recouvert d'un feutrage d'aigues et de bactéries; sur ce fond évoluent de nombreuses larves du Trichoptère *Allogamus auricollis*. Divers débris alimentaires s'accumulent dans les zones les plus calmes. Le fond avait ce même aspect en novembre 1973, dans une période de basses eaux, mais en novembre 1974, après de fortes pluies, aucune trace de feutrage bactérien ou de déchets ne subsistait. L'aspect du fond du cours d'eau en aval de Formiguères est donc lié aux apports nutritifs de l'effluent de la station d'épuration et à la possibilité de décantation en liaison avec le débit.

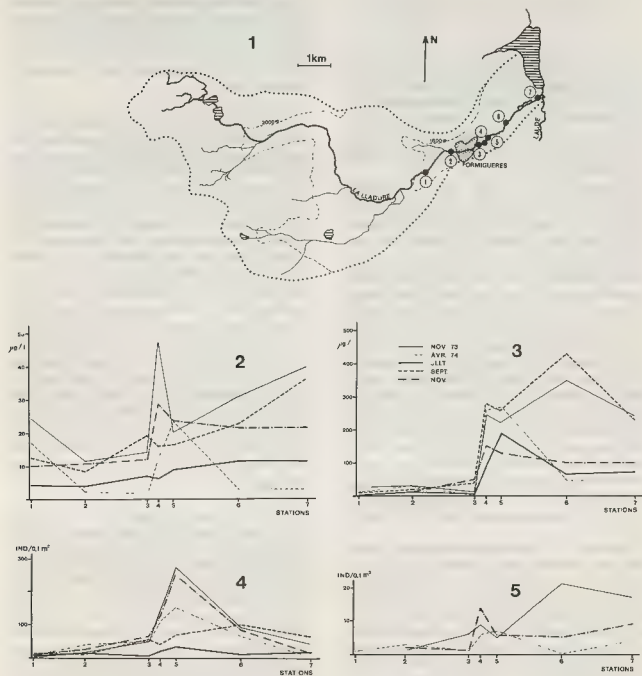


FIG. 1. — Bassin versant de la Lladure

FIG. 2 à 5. — Profils longitudinaux aux différentes époques de l'année. 2: teneurs en P-PO₄; 3: teneurs en N-NO₃; 4: nombre d'oligochètes; 5: nombres d'*Erpobdella octoculata*.

3. — INVERTÉBRÉS BENTHIQUES

Près de 150 espèces composent le benthos du cours d'eau pour les stations considérées. Il s'agit de Plathelminthes (1 espèce), Mollusques (2 espèces), Oligochètes (16 esp.), Ephéméroptères (13 esp.), Plécoptères (28 esp.), Coléoptères (10 esp.), Mégaloptères (1 esp.), Trichoptères (25 esp.), Diptères non Chironomides (10 esp. environ), Diptères Chironomides (38 esp.).

Les déterminations ont été assurées par MM. BERTHÉLEMY (Plécoptères et Coléoptères), GIANI (Oligochètes), THOMAS (Ephéméroptères et Diptères non Chironomides), TOURENQ (Diptères Chironomides).

Nous commenterons les distributions par groupe systématique sur la base des profils longitudinaux des figures 4 à 15. Afin de comparer nos résultats à ceux obtenus en d'autres régions d'Europe, deux classifications ont été rappelées. La première est celle de ZELINKA et MARVAN (1961) et de SLADCEK (1973), basée sur la plus ou moins grande saprobiontie des espèces, et distinguant les catégories suivantes : oligosaprobe (os), bêta oligosaprobe (bos), alpha oligosaprobe (aos), bêta mesosaprobe (bms), alpha mesosaprobe (ams), polysaprobe (ps). La seconde est une échelle de sensibilité exprimant le « degré d'euryécie générale » (VERNEAUX, 1974) et variant de 1 à 10 des organismes les plus tolérants vers les plus sensibles à la pollution.

Oligochaeta. — Les différences de densité observées pour l'ensemble des Oligochètes (fig. 4) sont surtout dues aux Naididae, espèces rhéophiles de petite taille. Ces espèces trouvent à la station 4 un substrat favorable ainsi qu'une nourriture abondante en aval de la station d'épuration. La distribution des deux espèces les plus grandes, *Tubifex tubifex* et *Limnodrilus hoffmeisteri*, semble plus liée à l'existence de microhabitats convenables qu'aux charges en matières organique, malgré la caractérisation ams et ps que leur donnent ZELINKA et MARVAN (1961). Pour ces deux espèces, les périodes de maturité

sexuelle, qui peuvent s'étendre toute l'année dans des milieux riches en matières organiques (KENNEDY, 1966), sont courtes dans la Lladure. Enfin, *Haplotaxis gordioides* a été récoltée au moins une fois à chacune des stations prospectées, alors qu'elle caractérise des eaux oligosaprobies d'après ZELINKA et MARVAN (1961).

Hirudineae. — *Erpobdella octoculata* (bms, ams, ps) et *Glossiphonia complanata* (bms, ams) sont des espèces prédatrices, la seconde étant plus précisément hématophage. *Erpobdella octoculata* (fig. 5), souvent présente en aval de rejets organiques (TUROBOYSKI, 1973), se nourrit, dans la Lladure, principalement de larves et de nymphes de Chironomides et de *Baetis*. Les deux espèces sont abondantes à la station 5 où les proies sont nombreuses et la concurrence d'autres prédateurs réduite.

Ephéméroptères. — *Rhithrogena gr. hercynia* (fig. 6) est peu fréquente, notamment en aval du rejet de la station d'épuration (station 4). *Rhithrogena gr. semicolorata* (bos et aos) (fig. 7) tend à disparaître à la station 4 alors qu'elle est à peu près également répartie en amont et en aval de cette station. Toutefois, dans la zone aval, sa densité est plus grande en faciès lotique qu'en faciès lentique. Cette réduction du microhabitat, et la recherche de courant plus fort a été observée sur *Rhithrogena semicolorata* (VERNEAUX, 1974).

Baetis alpinus, parfois abondant en aval de la station 4, disparaît pendant les périodes de trop fortes perturbations (fig. 8). Cette espèce est la plus constante pour l'ensemble de la Lladure. VERNEAUX la signale pour des indices de pollution compris entre 3 et 7. Les larves de *Baetis rhodani* (bos, aos, bms, ams) sont plus fréquentes à l'aval de la station 4 (fig. 9). Du point de vue de l'altitude, cette espèce n'est pas ici dans son milieu optimal, mais l'effluent de la station d'épuration crée des conditions qui lui sont favorables. Sa présence a été maintes fois signalée dans des milieux à forte charge organique HAWKES, 1962; LANGFORD et BRAY, 1969; EDWARD et al., 1972; VERNEAUX, 1974). *Baetis muticus* (bos,

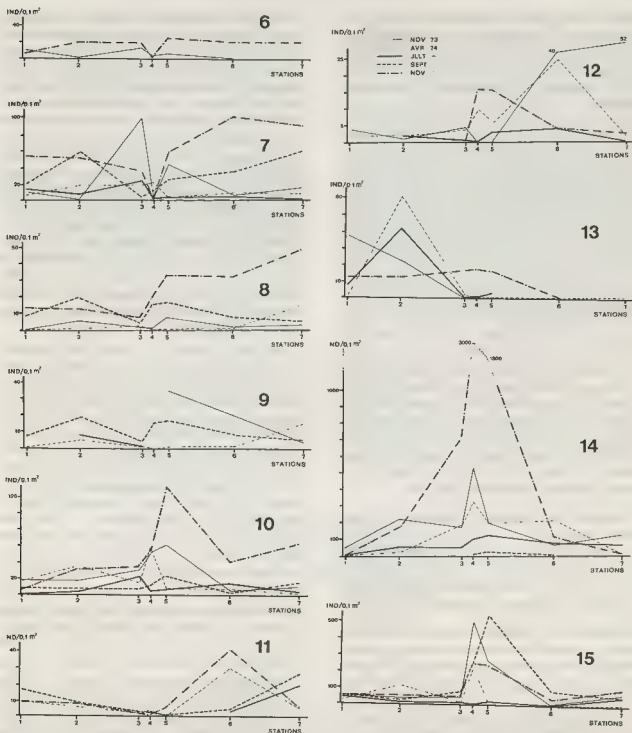


FIG 6 à 15. — Profils longitudinaux aux différentes époques de l'année. 6: *Rhytrogena gr. hercynia*; 7: *Rhytrogena gr. semi-colorata*; 8: *Baetis alpinus*; 9: *Baetis rhodani*; 10: *Leuctra*; 11: *Cloosoma boltoni*; 12: *Drusinae*; 13: *Micrasema*; 14: *Allogamus auricollis*; 15: *Chironomidae*.

aos, bms, ams) est souvent absent à la station 4 et reste faiblement représenté aux autres stations. *Baetis* sp. est surtout présent dans les stations de la zone amont (1, 2 et 3); il apparaît dans les stations 5, 6 et 7 en septembre, par dérive des derniers stades larvaires.

Plécoptères. — Seules les espèces appartenant à la famille des Leuctridae sont abondantes dans les stations étudiées. Neuf espèces ont été recensées sur imagos, mais les déterminations larvaires n'ont pas pu être poussées jusqu'à l'espèce. Dans l'ensemble, les larves de *Leuctra*, abondantes à la station 4 en avril, deviennent plus nombreuses à la station 5 aux autres dates (fig. 10). Parmi les espèces récoltées, on note *Leuctra aurita* et *L. inermis* (bos, aos), *Leuctra hippopus* (bos, aos, bms) (ZELINKA et MARVAN, 1961); d'après VERNEAUX (1974) *Leuctra major*, *L. inermis* et *L. hippopus* tolèrent un indice de pollution de 4 à 5. *Siphonoperla torrentium* (bos, aos), dans la Lladure comme dans l'ensemble des cours d'eau pyrénéens, est plus abondante que *Chloroperla tripunctata* (BERTHÉLEMY, 1966). Sa densité larvaire diminue à l'aval du rejet de la station d'épuration (station 4) mais s'accroît dès que l'influence de ce rejet se fait moins sentir, en avril par exemple. Enfin, *Perla marginata* (bos, aos, bms) est peu représentée à la station 5 où elle se trouve dominée par d'autres prédateurs tels que les Hirudiné.

Coléoptères. — On compte dix espèces dans la zone étudiée. Parmi elles, une seule espèce de Dytiscidae se cantonne aux rares zones calmes du cours d'eau. Numériquement dominant les larves et les adultes de deux espèces : *Esolus angustatus* et *Limnius perisi*; elles sont faiblement représentées à la station 4.

Trichoptères. — *Rhyacophila meridionalis* et *Rhyacophila mocsaryi* ne maintiennent que des populations réduites en aval de la station 4. Prédateurs actifs, ils sont, comme les Perlidae, supplantés par les Hirudiné.

Glossosoma boltoni (os, bms) (SCHUMACHER et SCHREMMER, 1970) est peu représenté à la station 4 (fig. 11); il devient plus abondant aux stations 6 et 7.

Hydropsyche pellucidula n'est bien représenté qu'aux stations 1 et 2 et disparaît pratiquement vers l'aval; cette distribution est en contradiction avec les caractéristiques généralement données pour le genre *Hydropsyche* dans son ensemble (bos, aos, bms, ams) mais peut s'expliquer par la sensibilité de ces espèces aux matières en suspension et aux pollutions mécaniques (VERNEAUX, in litt.).

Les Drusinae sont représentés par deux espèces dans les stations étudiées (fig. 12). *Ecclisopteryx guttulata* est peu abondant et son cycle est décalé par rapport à *Anomalopterygella chauviniana*. Ces deux espèces ne sont pas affectées par le rejet de la station d'épuration tant que le débit de la Lladure est élevé. On constate qu'après une période d'absence à la station 4, les larves de Drusinae sont à nouveau présentes en avril 1974 ce qui semble confirmer l'importance du phénomène de dérive pour les espèces de cette tribu.

Allogamus auricollis (os, bms) est l'invertébré benthique le plus représenté dans la Lladure. Abondante dans les parties calmes des ruisseaux, cette espèce s'accommode de courants modérés à rapides quand ses larves sont âgées. Elle se nourrit de matières végétales d'origine exogène mais peut se comporter en carnivore occasionnel (DÉCAMPS, 1968). Dans la Lladure, *Allogamus auricollis* tend à coloniser tout le fond du ruisseau, particulièrement à la station 4, en relation avec la couverture d'algues et les matières organiques provenant de la station d'épuration (fig. 14). La pullulation de cette espèce dans les cours d'eau de montagne à forte charge organique est un phénomène d'observation courante dans les Pyrénées.

Odontocerum albicorne (os, bms, ams), prédateur et râcleur de substrat, est présent en petit nombre à toutes les stations avec une densité un peu plus forte aux stations 4 et 5.

Silo piceus se trouve dans la Lladure à sa limite supérieure de répartition altitudinale. Les perturbations du milieu entraînent sa disparition rapide au-dessus de la station 6. *Silo graellsii* est présent dans toutes les stations, sauf la station 4 mais est plus abondant dans les stations aval

Des quatre espèces de *Micrasema*, *M. longulum* et *M. minimum* sont les plus abondantes; elles se rencontrent principalement aux stations 1, 2 et 3 dans lesquelles les mousses sont plus abondantes (fig. 13).

Chironomides. — Les Chironomides sont représentés par plus de quarante espèces (déterminées sur adultes). L'augmentation globale du nombre de larves et de nymphes (fig. 15) est en relation avec la modification de la structure du fond. A la station 4, en novembre 1973, les larves de *Prodiamesa olivacea* et de *Micropsectra bidentata* dominent. Les larves de ces deux espèces sont moins nombreuses en novembre 1974, pour une charge organique moindre.

Pour chaque date de prélèvement (nov. 73, avril 74, juillet 74, sept. 74 et nov. 74), les nom-

bres d'individus récoltés par 0,1 m² à chaque station ont été regroupés dans des tableaux à double entrée taxa-stations. Une analyse factorielle de correspondance a été appliquée à ces tableaux regroupés en un tableau unique taxa-prélèvements dans le but de comparer entre eux les profils de variation. L'analyse a donc porté sur 41 taxa et sur 35 prélèvements (7 stations $\times$ 5 dates de prélèvements).

L'axe bissecteur des axes 1 et 2 a seul été représenté ici (fig. 16). Il rend compte en effet des perturbations subies par le cours d'eau. Aux divers mois de l'année, les stations se classent sur cet axe en fonction de leur charge en matières organiques : des stations voisines de Formigères (4 et 5) aux stations plus en aval ayant bénéficié d'une auto-épuration, ou aux stations plus en amont (1, 2, 3). Les positions correspondantes des espèces permettent de résumer les diverses tendances mentionnées

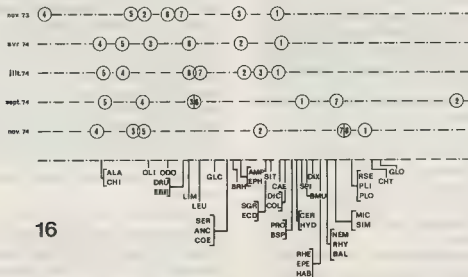


Fig. 16. — Classement des stations et des taxa par rapport à un axe bissecteur des axes 1 et 2 de l'analyse factorielle. (Charge organique d'autant plus importante qu'on est vers le côté gauche de la figure).

symboles utilisés pour les espèces: ALA: *Aitogamus auricollis*; CHI: Chironomidae; OLI: Oligochètes; ODO: *Odontocerm albicorne*; DRU: *Drusus*; ERP: *Ergobdella octoculata*; LIM: *Limnephilinae*; LEU: *Leuctidae*; GLC: *Glossiphonia complanata*; SER: *Sericostomidae*; ANC: *Ancyclus flavatilis*; COE: *Elmus maugeti*; BRH: *Baetis rhodani*; AMP: *Amphnemura*; EPH: *Ephemera ignita*; SGR: *Silo grallus*; ECD: *Ecdyonurus*; SIT: *Siphonoperla torrentium*; CAE: *Caenis rivulorum*; DIC: *Dicranota*; COL: *Limnitis perlii*; PRO: *Protonemura*; BSP: *Baetis* sp.; CER: *Ceratopogonidae*; HYD: *Hydropsyche pellucidula*; SPI: *Silo piceus*; BMU: *Baetis muirae*; DIX: *Dixidae*; RHE: *Rhythrogena gr. hercynia*; EPE: *Epeorus assimilis*; HAB: *Habroleptodes berthelemy*; NEM: *Nemoura*; RHY: *Rhyacophila*; BAL: *Baetis alpinus*; MIC: *Micrasema*; SIM: *Simulidae*; RSE: *Rhythrogena gr. semicolorata*; PLI: *Perlidae*; PLO: *Perlotidae*; CHT: *Chloroperla tripunctata*; GLO: *Glossosoma boltoni*.

précédemment avec *Allogamus auricollis*, les Chironomides et les Oligochètes du côté des stations à forte charge organique.

DISCUSSION

La Lladure subit des perturbations temporaires, de nature diverse. L'emprise énergétique se manifeste par des détournements d'eau entre les deux premières stations; l'emprise touristique par des augmentations soudaines des populations riveraines. Une zone de pâturages provoque également, par ruissellement, des modifications de la qualité de l'eau.

Dans la Lladure, les perturbations observées se traduisent surtout par une modification du substrat. Cette modification varie selon le débit: le feutrage algal et bactérien formé, de même que les détritus et débris accumulés, sont régulièrement balayés par des crues. Il s'ensuit une grande variabilité de l'état du fond du cours d'eau, avec retours à des situations plus propices au développement des macroinvertébrés, principalement sous l'influence des conditions météorologiques. Pour une faune dans son ensemble bien diversifiée, quatre types de réactions ont été observés en fonction de l'augmentation de la charge organique:

- certains taxa disparaissent dès le début de l'altération du ruisseau;
- d'autres diminuent progressivement en densité pour disparaître à la station la plus polluée;
- d'autres augmentent en densité pour de faibles charges organiques;
- quelques uns prolifèrent au niveau du rejet.

Si ces réponses correspondent dans leur ensemble à un schéma connu (de même que, par exemple, le remplacement d'insectes prédateurs par des Hirudiniés), certaines réactions sont, dans le détail, plus particulières aux ruisseaux de montagne. On peut citer, au niveau de la station 4, la prolifération d'*Allogamus auricollis*, la persistance des *Leuctra*, la disparition des simuliidés ou d'*Hydropsyche pellucidula*.

Sans doute les perturbations subies par ce cours d'eau n'ont-elles pas encore des conséquences trop néfastes: l'indice biotique moyen (TUFFÉRY et VERNEAUX, 1967) demeure égal à 10 alors qu'en plaine, les mêmes apports organiques auraient probablement des effets plus marqués. Mais cette apparente stabilité ne doit pas faire illusion. Il s'agit surtout d'une question d'adéquation et de sensibilité de la méthode utilisée. Par suite de l'existence d'eaux froides et bien oxygénées, rapidement renouvelées, la réponse du benthos aux augmentations de charge organique diffère en effet de celle d'un cours d'eau de plaine. En fait, l'extrême fragilité des milieux aquatiques de montagne oblige à une vigilance accrue, ainsi qu'à une adaptation des tests d'alerte qui doivent faire preuve d'une grande sensibilité.

En montagne, l'interprétation de ces tests doit en outre tenir compte du fréquent balayage du fond par des crues et d'un abondant transport en matières minérales. Dans un cours d'eau comme la Lladure, soumis à des pollutions organiques temporaires, la biocénose du fond n'intègre pas à tout moment l'ensemble des conditions chimiques antérieures: 1) les peuplements de macroinvertébrés ont déjà réagi aux modifications du substrat avant de subir les variations temporaires de la qualité de l'eau; 2) les possibilités de recolonisation par dérive ou par pontes peuvent assurer localement un prompt retour de la faune; 3) les variations saisonnières, si nettes en montagne, peuvent enfin masquer certains effets des pollutions.

Il ne saurait donc être question de remplacer des paramètres chimiques par des paramètres biologiques (WÜRHMANN, 1974); mais, comme l'indiquent EDWARDS *et al.* (1972), l'effet d'une pollution étant souvent plus facile à discerner que ses causes, il est important de fournir une image de la biologie d'un cours d'eau. Le présent exemple illustre le fait qu'en montagne, cette image est toujours fluctuante, à la fois sur de courtes périodes dans le temps et sur de faibles distances dans l'espace; il démontre en outre la sensibilité du benthos des ruisseaux de montagne aux modifications de leur bassin versant.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTHÉLEMY (C.), 1966. — Recherches écologiques et biogéographiques sur les Pléocoptères et Coléoptères d'eau courante (Hydraena et Elmnhidae) des Pyrénées. *Annls limnol.*, 2, 227-458.
- BESCH (W.K.) et al., 1972. — Données écologiques sur les algues benthiques de haute montagne dans les Pyrénées. I. Diatomées. *Annls. limnol.*, 8, 103-118.
- CURRY (R.R.), 1972. — Rivers a geomorphic and chemical overview. in Oglesby et al. (eds), *River ecology and man*. Academic Press. N.Y., 9-32.
- DÉCAMPS (H.), 1968. — Vicariances écologiques chez les Trichoptères des Pyrénées. *Annls. limnol.*, 4, 1-50.
- EDWARDS (R.W.) et al., 1972. — A biological survey of the river Taff. *J. Inst. Water Poll. Control.*, 2, 1-24.
- HAWKES (H.A.), 1962. — Biological aspects of river pollution. In KLEIN L.: *River Pollution: causes and effects*. London : 311-342.
- HYNES (H.B.N.), 1975. — Edgardo Baldi Memorial Lecture: The stream and its valley. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19, 1-15.
- KENNEDY (C.R.), 1966. — The life history of *Limnodrilus hoffmeisteri* Clap (Oligochaeta, Tubificidae) and its adaptive significance. *Oikos*, 17, 158-168.
- LANGFORD T.E. & BRAY E.S., (1969). — The distribution of Plecoptera and Ephemeroptera in a lowland region of Britain (Lincolnshire). *Hydrobiologia*, 34, 243-271.
- LIKENS (G.E.) et al., 1970. — Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed ecosystem. *Ecol. Monogr.*, 40, 23-47.
- PATRICK (R.), 1953. — Biological phases of stream pollution. *Sewage Ind. Wastes*, 22, 926-938.
- SCHUMACHER (H.) et SCHREMMER (F.), 1970. — Die Trichopteren der Oderwaldbachs "Steinach" und ihr ökologischer Zeigerwert. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.*, 55, p. 335-358.
- SLADECEK (V.), 1973. — System of water quality from the biological point of view. *Ergebn. Limnol.*, 7, 1-218.
- TUFFERY (G.) & VERNEAUX (J.), 1967. — Méthode de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Exploitation codifiée des inventaires de la faune du fond. *Trav. Div. Qual. Eaux. P. Pisc. CTGREF*, 23 p.
- TUROBOYSKI (L.), 1973. — The indicator organisms and their ecological variability. *Acta Hydrobiol.*, 15, 259-274.
- VERNEAUX (J.), 1974. — Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de Biotypologie. *Thèse, Besançon*, 300 p.
- WOODALL (W.R.) & WALLACE (J.B.), 1972. — The benthic fauna in four small Southern Appalachian streams. *Amer Midl. Nat.* 88, 393-407.
- WURHMANN (K.), 1974. — Some problems and perspectives in applied limnology. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, 20, 324-402.
- ZELINKA (M.) & MARVAN (P.), 1961. — Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Arch. Hydrobiol.*, 57, 389-407.

TROISIÈME PARTIE

L'USAGE DE LA MONTAGNE. CONTRAINTE ET RÉALITÉ

*Nulle chose n'est compréhensible que par son histoire.
« Nature » équivaut à « devenir ».*

TEILHARD DE CHARDIN, 1920.

Aménager est le propre de l'homme, et rien dans ce domaine ne saurait être tenté sans lui.

Le souci d'équilibre et d'ajustement à la possibilité qu'exprimait Olivier de SERRES dans son *message des champs*, semble avoir toujours été perçu par le paysan montagnard, attentif à sauvegarder les résultats de ses efforts, face à une nature difficile, prompt à remettre en question les avantages acquis.

Une conscience aigüe de l'usage de la montagne s'est ainsi établie, fondée sur la prudence, mais aussi sur la recherche du plein emploi, immuablement réglée par les contraintes phénologiques, si diversement réparties dans l'espace et le temps, au gré de l'altitude et de l'exposition des versants.

Si la puissance publique, — quelque forme qu'elle ait pu prendre au cours des âges —, a toujours su ou dû reconnaître, sous forme de *droits d'usage* cette nécessaire relation écologique entre l'homme et le milieu, on pourrait craindre que, par une trop rapide assimilation de telles pratiques à un passé révolu, on perde la chance d'une rénovation usagère, dans les perspectives nouvelles d'exploitation dont la montagne est le siège.

Droits d'usage, droit à l'usage... il serait vain de toute manière, d'en négliger l'importance. Peut-être même, est-ce une condition *sine qua non* du devenir de l'aménagement montagnard.

LES DROITS D'USAGE HISTOIRE, ACTUALITÉ, PROSPECTIVE

par G. SICARD *

RÉSUMÉ

De temps immémorial, l'exploitation de la montagne pyrénéenne s'est assorti de droits d'usage (affouage, marronage, pâturage) dont les bénéficiaires se sont toujours montrés soucieux de sauvegarder l'intégrité. Loin de tomber en désuétude, et malgré la tendance à leur extinction devant l'abandon de la montagne, ils sont toujours ressentis comme élément important du patrimoine, et apparaissent aujourd'hui comme l'un des points d'appui possibles dans un effort de renouveau.

SUMMARY

From time immemorial, local customs ("affouage" — "marronage" — grazing) lived in the Pyrenean mountains. The beneficiaries appeared attentive to protect integrity of these customs. Far from falling into disuse, the local customs still are an important element of heritage and appear one of the main points in the endeavour of renovation.

INTRODUCTION

CONTINUITÉ : HISTOIRE, ACTUALITÉ, PROSPECTIVE DANS LE SECTEUR DES « DROITS D'USAGE COMMUNAUTAIRES »

Dans tous les domaines, les chercheurs ont pris conscience des solidarités entre les différentes composantes d'une civilisation et d'une société. Le développement de l'écologie en est la preuve. Pour les hommes, la conscience de cette solidarité doit

s'étendre au passé : la rupture des équilibres traditionnels perturbe profondément les hommes et leur société. En ce qui concerne les économies de montagne, (Pyrénées notamment), chacun est maintenant conscient qu'aucune politique ne peut être durable et efficace si elle ne tient pas compte des réalités du milieu et des mentalités des habitants, les unes et les autres profondément modelées par l'histoire. Plus spécialement, dans les zones montagnardes étudiées, les intéressés, habitants, communes, administrations se réfèrent constamment à d'*anciens usages*, parfois mal connus, mais ressentis par les habitants comme partie intégrante de leurs droits et de leur vie. La majorité des habitants actuels se montrent très attachés à ce qu'ils tiennent de leurs ancêtres : propriétés, maisons, attitudes et usages.

L'histoire ne doit pas être traitée comme un ensemble de faits révolus, mais comme la genèse de

(*) Rapport établi à partir des recherches dirigées par les Professeurs DESPAX, OURLIAC, SICARD, de l'Université des Sciences Sociales de Toulouse.

situations actuellement vécues avec référence à ce passé, qui est actualisé, vivifié, (même déformé) par les orientations actuelles des « mass-media » (« Guerre des Demoiselles », par exemple).

La démarche de recherche a donc été, dans un premier temps, orientée dans une perspective historique, afin de préciser quels sont ces *droits d'usage collectifs*, qui se trouvent encore au centre des options sur l'aménagement des Pyrénées, quels documents les contiennent, quelles distorsions ont pu être apportées par le jeu des intérêts opposés (Etat-communes; gens du pays-étrangers; montagnards-industriels, etc...). Malgré la faiblesse des moyens mis en œuvre, cette phase est pratiquement achevée, au moins pour la zone d'étude privilégiée du Donezan. Le relevé des documents principaux et leur transcription ont été réalisés par M. NGUYEN THE ANH; une étude introductive sur les droits d'usage dans le Donezan a été réalisée par M. MIR. La première et la seconde partie du présent rapport utilisent et résument ces deux dernières recherches. Elles ont été réalisées en vue d'une seconde phase, qui débouchera sur l'élaboration de propositions concrètes, de *choix de société* pour le domaine montagnard.

Cette seconde phase, qui ne pouvait commencer qu'à partir de la connaissance de ce qui est « en amont » des comportements actuels, devra tenir compte de l'observation des attitudes des populations actuelles (y compris les jeunes agriculteurs) vis-à-vis de ces droits d'usage et des agressions contemporaines contre les équilibres traditionnels. Les « reconnaissances » des problèmes effectués par M. MIR (Donezan), M. GAZZANIGA (Capcir) incitaient à mettre au point une méthode d'investigation, suffisamment souple pour « saisir » les réactions des différentes catégories de personnes intéressées, en leur permettant de s'exprimer librement, suffisamment précise pour aboutir à un diagnostic, valable selon les zones, les catégories d'âge, les conditions socio-professionnelles. Cette méthode mise en œuvre par M. OGE, à titre expérimental, pour le pays de Sault, est destinée, dans le cadre du VII^e Plan, à permettre l'élaboration de projets de rétablissement des équilibres montagnards perturbés, en commençant par les secteurs sensibles : Donezan, Capcir.

I. — LES « DROITS D'USAGE » ET LES ÉQUILIBRES TRADITIONNELS DE LA MONTAGNE

(rapport de synthèse à partir des recherches de
MM. MIR et NGUYEN THE ANH, 1974-1975)

Les documents recueillis et les recherches réalisées concernent plus spécialement le petit pays de *Donezan*, mais ouvrent aussi des perspectives sur les relations « homme-montagne » pour l'ensemble des Pyrénées ariégeoises, cette zone de montagnes compartimentées en petits « pays » par l'orientation des massifs, située aux confins du secteur climatique méditerranéen. Les droits d'usage ont joué un rôle considérable dans les équilibres économiques traditionnels, particulièrement dans les micro-sociétés montagnardes pyrénéennes. Du point de vue des usagers, ils représentent un apport pour la subsistance des familles, essentiel dans le système ancien où les productions sont maigres et aléatoires, le niveau de vie habituel sommaire et menacé. Ces « droits d'usage » constituent un élément très important des équilibres écologiques : hommes-troupeaux-productions végétales (bois et pâturages). Ils permettent aux hommes de tirer parti de la forêt, pour le chauffage, la construction, la fabrication de l'outillage, de posséder et d'élever des troupeaux qui vivent sur les pâturages (estives ou permanents). Un certain équilibre entre le nombre des bêtes et la superficie des pâturages permet à ces prairies naturelles de se maintenir.

L'existence de ces droits d'usage remonte à des temps lointains. Les documents les plus anciens (XIII^e-XIV^e siècles) en reconnaissent l'existence sous forme de privilèges reconnus par le pouvoir aux habitants, mais sans créer le système. Il est indifférent, pour notre propos, de rechercher si ces « droits d'usage » et les réseaux d'intérêts communautaires qu'ils expriment se sont constitués durant le haut moyen âge, ou s'ils remontent plus haut, dès les premières implantations de groupes sédentaires d'éleveurs, dans les vallées de montagne.

Dans l'état de société que nous pouvons connaître avec quelque certitude, ces « droits d'usage », et plus généralement, tout le système d'« écologie humaine de montagne » qu'ils expriment en termes de droit, correspond à la coexistence de deux formes de pouvoir, depuis l'époque féodale jusqu'à la Révolution : Pouvoir suprême d'un seigneur (Comte de Foix ou Roi), reconnu comme souverain politique et juge suprême, pouvoir concret et immédiat des communautés rurales dans lesquelles sont regroupés les montagnards (consulats, communauté de vallée, selon les lieux). La solidarité des hommes est solidement vécue et ressentie dans cette communauté. On y appartient par toute la vie religieuse (qui est évidemment essentielle jusqu'à la Révolution). On y appartient par l'existence de la communauté administrative (consulat, communauté de vallée), par l'habitude du voisinage, les liens de parenté ou d'alliance (on se marie surtout entre gens de même village), par les intérêts communs : l'usage des bois et surtout des pâturages sera reconnu aux habitants de tel consulat ou communauté. Chacun sait jusqu'à quelle crête, jusqu'à quel vallon s'étendent les pâturages réservés à la communauté (sous réserve de conflits entre communautés, parfois continués jusqu'à nous).

Les seigneurs, et après eux les rois, ont reconnu aux communautés paysannes le droit d'utiliser assez librement les ressources matérielles de la montagne pour assurer leur subsistance : bois pour le chauffage, la construction, la fabrication d'outils, pâturages.

Ces « libertés » ont été particulièrement étendues et durables dans les contrées qui font l'objet du présent rapport, en raison de l'attachement très fort des populations, à ces usages de l'éloignement et de la compréhension du pouvoir souverain; en raison aussi des caractères spécifiques de la géographie politique et économique de ces « pays ». Éloignés des centres du pouvoir politique, d'accès difficile, ne présentant que de faibles ressources, placés aux confins des zones d'influences de pouvoirs politiques rivaux, comtes de Foix, comtes de Barcelone, puis rois de France et d'Espagne, les pays pyrénéens « français » sont liés par des rapports d'échanges

pastoraux et commerciaux avec le versant espagnol. L'importance de ces relations explique l'existence de traités de « lies et passerries », par lesquels les communautés situées de part et d'autre des Pyrénées déterminent les conditions de relations pacifiques de passage des troupeaux, d'utilisation des pâturages, même en cas de guerre entre leurs souverains respectifs (cf. Traité de « lies et passerries » du 22 avril 1513 entre les communautés pyrénéennes et les dignitaires français et espagnols).

L'établissement et l'affermissement des « droits d'usage communautaires » dans les zones de montagne a été facilité par la forme des conceptions juridiques de l'époque féodale et de l'Ancien Régime. Les conceptions précises de la puissance publique (et de la propriété publique) d'une part, et d'autre part de la propriété individuelle considérée comme droit suprême et exclusif de l'homme sur la chose se sont muées lentement, au cours du haut moyen âge, en approches beaucoup plus souples, et adaptées à la réalité : « Tenures », c'est-à-dire les différentes manières de « tenir » une terre, « domaine », divisé en domaine utile (du vassal ou du tenancier) et domaine éminent du seigneur. Plusieurs niveaux de tenure, plusieurs « étages » de domaine peuvent coexister sur les mêmes terres. On comprenait sans difficultés, au Moyen Âge et jusqu'à la Révolution, que les communautés montagnardes et le seigneur aient des droits permanents sur les mêmes forêts et pâturages, les premiers, à titre d'usage et pour la satisfaction de leurs besoins locaux, le second, au titre du « domaine éminent », de la souveraineté publique, et des intérêts collectifs du pays ou du royaume.

Le Comté de Foix existe depuis le ^x^e siècle : il comprend notamment tout le haut pays d'Ariège montagnoux (Sabarthès), aux alentours de Foix et en amont, jusqu'aux crêtes des Pyrénées le séparant de l'Aragon et de la Catalogne, et jusqu'aux confins de la vallée de l'Aude, à l'Est. Il serait de peu d'intérêt pour notre propos de décrire la géographie politique et les partages successoraux. Tout en consolidant leur autorité sur leur fief, les Comtes de Foix ont reconnu d'importantes libertés et privilèges aux

différentes communautés urbaines, paysannes et montagnardes.

On relève notamment, au profit des habitants de Foix, des franchises de 1329 et 1391, la liberté de couper des bois, dans certaines zones, pour chauffage, construction, ou fabrication d'outils sans payer de droit de forestage. Le comte leur reconnaît de même le droit de faire paître leur bétail « gros et menu, de jour et de nuit, autant de temps qu'ils voudront... » sans payer de redevance. On relève le même droit reconnu aux habitants de la vallée d'Aure (Pyrénées Centrales) : dans les bois « communs », de prendre du bois, mort ou sur pied, pour construire, chauffer les fours à pain.

De telles « libertés » ont été conservées particulièrement dans la « Terre souveraine de Donezan » (= pays de Querigut). Dans l'acte de soumission et hommage prêté en 1391 par les représentants du Donezan au comte de Foix Mathieu et à sa mère, ils lui promettent l'obéissance, « étant saufs leurs libertés, immunités, franchises, usages et coutumes ci-après indiquées ». Le Comte promet de respecter les usages, franchises, libertés et immunités de leurs terres, telles qu'elles étaient au temps des comtes, ses prédécesseurs. Le Comte et sa mère confirment les dites libertés à l'Université des habitants de cette terre de Donezan. Parmi les libertés énumérées : les habitants ne seront pas jugés en dehors de cette terre de Donezan, si ce n'est par le Comte lui-même. Les usages des bois et pâturages ne sont pas nommément mentionnés, mais les parties considéraient, des deux côtés, qu'ils étaient inclus dans la confirmation générale des libertés et privilèges du pays. Les habitants les font confirmer à plusieurs reprises, et notamment par les nouveaux souverains, à leur avènement (Henri, roi de Navarre, en 1535, Antoine, roi de Navarre en 1556, Louis XIII en 1611, Louis XIV en 1643). A noter que la confirmation de 1556, par Antoine de Bourbon, roi de Navarre, contient la réserve « sans préjudice toutefois des droits et intérêts de nous et de la chose publique de notre pays ». Concernant les bois, il y a lieu de mentionner aussi un privilège daté de 1549, autorisant les habitants du Donezan à porter, par l'Aude,

du bois à Carcassonne (sans toucher aux bois réservés au Roi).

Le Donezan constituait, dans l'ancienne France, un « pays » distinct, ayant ses coutumes propres, que les seigneurs et les rois s'étaient engagés à respecter. Le Donezan faisait partie des possessions des comtes de Foix, passées au Roi de Navarre, puis au Roi de France, Henri de Navarre étant devenu Roi de France (Henri IV). Ce Donezan était un fief tenu des rois d'Aragon, devenus rois d'Espagne. Au traité des Pyrénées, de 1659, le Donezan est rattaché au royaume de France, comme le Roussillon. En exécution de ce traité, le Roi de France devait respecter les coutumes de ces pays, et ils juraient aussi de respecter les coutumes des pays de Navarre.

Les habitants, qui ont vécu pendant plusieurs siècles entre la France et l'Espagne, sont restés très attachés aux « libertés et franchises » qui leur avaient été garanties par les rois, et qui constituent le fondement des règles particulières auxquelles ils tiennent, en matière de droits d'usage.

Du côté du souverain, on voit apparaître et se renforcer, au XVI^e et surtout au XVII^e siècle, les notions de pouvoir souverain, établissant des ordonnances dans l'intérêt public, et celle d'exploitation rationnelle des forêts, de manière à obtenir le meilleur rendement actuel, tout en permettant, par des « règlements appropriés », de développer ultérieurement la production de bois. Ce matériau devient un élément important, respectable et convoité, dans une politique de développement maritime (constructions navales) et industriel (combustible pour les forges). La préoccupation de l'« arbre » passe au premier plan, chez les forestiers, qui s'appliquent à lutter contre les abus de toutes sortes qui risquent de dégrader les forêts. Un jugement (rapporté par MIR, p. 6) montre que les habitants du Donezan ne craignaient pas d'étendre sans fondement leurs « droits d'usage » jusqu'à vendre à des marchands le bois à couper.

La « grande réformation des Eaux et Forêts », sous l'autorité de M. de FROIDOUR, et la mise en application de la grande ordonnance sur les Eaux et Forêts de 1669 s'accomplissent de manière à

concilier les droits souverains du Roi, et les prétentions des habitants à jouir des bois et pâturages.

Le pays de Quérigut relève de la maîtrise particulière des Eaux et Forêts de Quillan, qui fait l'objet d'un règlement particulier, du 8 mai 1670. FROMDOUR constate qu'une partie des bois a été dégradée, parce que mal exploitée, le reste brûlé, défriché ou transformé en broussaille par les déprédations.

Le pays de Donezan est exempté (jugement du 29 avril 1670 des commissaires réformateurs) de l'application stricte de l'ordonnance de 1669, qui limitait très fortement les droits d'usage. Les commissaires du Roi ont pris en considération, plutôt que des titres peut-être incertains ou discutables, la situation difficile des habitants dans ce pays rude et sans grandes ressources : « Sa Majesté étant suppliée de considérer qu'il serait trop rude d'ôter aux habitants tous les usages, ce qui les mettrait hors d'état de subsister et de payer aucune charge ».

Ce jugement de réformation du 29 avril 1670 maintient le pays de Donezan en possession des privilèges qui leur avaient été concédés par les précédents rois et comtes : « maintenons et gardons les dits défenseurs aux droits d'usage par eux prétendus dans les forêts du roi assises au pays de Donezan, suivant le règlement qui en sera fait par sa Majesté, sauf la forêt du Haut Carcanet, de tout terrain réservée par les seigneurs souverains du dit pays ».

Le règlement sera pris seulement en 1754, sous la forme de l'arrêt du Conseil du roi du 16 septembre 1754 pour « la conservation, régie et administration des forêts appartenant au roi dans le ressort de la maîtrise de Quillan ».

Certaines règles concernent l'ensemble du territoire de cette maîtrise. Pour l'ensemble du territoire relevant de la maîtrise de Quillan, il est interdit, pour protéger les plantations, « de faire aucun brûlis, dans les forêts, ni à un quart de lieu, ni dans les landes et bruyères, sous les peines les plus sévères » (art. 15, titre III de l'édit). Mais les habitants sont confirmés dans la jouissance du droit de prendre le bois mort des forêts du roi, pour se chauffer. Ils

jouiront aussi du droit de faire paître le gros bétail, à l'exclusion des chèvres et moutons. Les chèvres devront être tenues à une demie lieue des forêts du roi.

En ce qui concerne spécialement les forêts du Donezan, vu leur état de dégradation attesté par les experts, aucune vente n'aura lieu pendant quinze ou vingt ans selon les lieux. Cependant, le roi, compte tenu de la pauvreté des habitants, de la nécessité pour eux de disposer de planches pour couvrir les maisons, leur accorde le droit de recevoir cent arbres avant que les coupes et ventes ne reprennent, et ensuite, il leur sera délivré annuellement « la quantité d'arbres dont ils auront besoin pour les réparations et entretien de leurs maisons et autres bâtiments au prix de 4 sols » (article 2 du titre 10 de cet arrêt de règlement de 1754). Pour le reste, les articles 6, 7 et 8 du titre 19 de l'ordonnance de 1669, relatifs à la marque des animaux, aux pâtures communaux sont applicables au Donezan, et y sont appliqués.

En définitive, l'action royale avait été assez souple : l'affirmation et la reconnaissance de la souveraineté du roi n'excluent pas le privilège des habitants de n'avoir pas à plaider hors de leurs terres : le juge mage royal de Foix est juge souverain du Donezan ; c'est en ce sens que doit être comprise la qualification traditionnelle : « Terre souveraine de Donezan ». Au regard des forêts et pâturages, l'affirmation et la reconnaissance de la souveraineté et haute justice du roi se combine avec le droit des habitants de prendre le bois nécessaire pour chauffage, construction et fabrication d'outillages, et avec leur droit « de faire dépaître leurs bestiaux dans toute l'étendue des montagnes ».

II. — L'ÉVOLUTION CONTEMPORAINE

(XIX^e-XX^e siècles)

CONFLITS DE PROPRIÉTÉ ET D'INTÉRÊTS

Le système souple, et apparemment satisfaisant pour les habitants, s'est prolongé jusqu'à la Révo-

lution. Au cours de la période révolutionnaire, les mutations politiques, la disparition d'une administration forestière spécialisée, l'autonomie des municipalités, l'esprit d'indépendance des montagnards ont contribué sans aucun doute à l'exploitation sans règle des forêts, voire à leur pillage, à des défrichements inconsidérés, au gré des besoins de chacun. D'autre part, les concessionnaires exploitent sans mesure les forêts pour le service des forges (Forge du Sieur Bernadac, à Mijanès et Puyvalador). Les rapports des forestiers aux alentours de 1830 constatent cette dégradation de l'ensemble forestier.

Rappelons que la nécessité du bon ordre dans la gestion et de la reconstitution des forêts a déterminé le rétablissement, par Napoléon Bonaparte, de l'administration des Eaux et Forêts et, plus tard, le vote de la loi du 1^{er} août 1827, constituant « Code Forestier ». Ce dernier établit, dans l'intérêt des forêts, des dispositions restrictives des droits d'usage. Ils peuvent être « cantonnés » ou « réduits » par l'administration « suivant l'état et la possibilité des forêts » (art. 61 et suivants). L'entrée en vigueur de ces dispositions, survenant après des années où les communautés montagnardes avaient utilisé ces forêts comme leur propriété, détermine de graves troubles connus sous le nom de « guerre des demoiselles », dans les années 1827-1830, et encore en 1848.

Plusieurs éléments d'opposition se combinent et se conjuguent : mobiles opposés de l'Administration des Eaux et Forêts (qui souhaite protéger les forêts des intrusions et déprédations, pour assurer l'avenir) et des montagnards, qui veulent tirer des bois tout ce qui est nécessaire pour leur chauffage, et utiliser les pâturages le plus librement possible ; conception opposée de la propriété : l'administration assure que ces territoires sont propriétés de l'Etat, successeur du domaine royal, que les « droits d'usage » prétendus par les habitants ne sont que des exceptions, pour lesquelles ils doivent justifier de titres, et qui doivent être interprétées étroitement ; les habitants, de leur côté, considèrent qu'ils possèdent de toute ancienneté, un droit aux pâturages et à l'usage des forêts, et que les restrictions qu'impose l'administration sont injustes, spoliatrices et

les réduisent à la misère. D'autre part, la valeur en capital des forêts est maintenant prise en considération. Les grands propriétaires ou industriels les envisagent sous l'angle du placement rentable ou de source de combustibles pour les forges. L'opposition « riche » « pauvre » est aggravée par l'opposition « étranger » (au pays) — « autochtone ».

Ces tensions profondes et durables ont maintenu un état d'incompréhension, voire d'hostilité entre les différents partis, jusqu'au XX^e siècle. Elles sont à la base des contestations et procès multiples sur les bois et les pâturages, les délimitations des propriétés et des droits d'usage, opposant les communautés à l'Etat, les communautés entre elles ou à des particuliers.

La situation des droits d'usage aux XIX^e et XX^e siècles dans la région de Quérigut peut être ainsi définie (jusqu'à la convention de 1968 que nous évoquerons plus bas) :

— *Droit au bois de chauffage à prendre dans les forêts du domaine de l'Etat.* Ce droit fondé sur l'usage immémorial est soumis à une redevance de 10 f par m³.

— *Droit au bois de « marronage »* (pour effectuer des réparations) découlant de l'usage, mentionné plus haut, reconnu aux habitants, de prendre du bois vif pour réparer les édifices et fabriquer l'outillage. Les habitants y restent attachés, au moins en ce qui concerne le bois nécessaire aux réparations des édifices. Dans la pratique actuelle, l'administration paraît imposer des conditions très restrictives, que nous examinerons plus bas, dans l'étude de la convention de 1968. Ces restrictions ne paraissent nullement conformes aux formules très larges des anciens documents. A noter que la jurisprudence tient compte de l'existence de ces droits d'usage des habitants, pour définir les conditions d'attribution à des adjudicataires.

— *Droit d'usage des pâturages.* Par application du régime général établi par le Code Forestier, les habitants peuvent envoyer leurs bêtes soit en forêt, dans la limite des cantons déclarés défensables chaque année par l'administration, soit dans les vacants d'alti-

tude (estives) qui sont propriété domaniale. Les moutons et chèvres sont exclus des forêts et terres qui en dépendent. Ce droit d'usage est réservé au bétail propre des usagers, à l'exception des bêtes dont ils feraient commerce. L'administration se réserve de fixer chaque année le nombre des bêtes admises au pâturage.

Ces conditions sont, elles aussi, plus restrictives que celles qui résultaient de l'application du règlement de 1754.

On peut, à titre de comparaison, évoquer le cas du Capcir (= canton de Formiguères) entre haute vallée de l'Aude et Cerdagne, région ayant suivi le sort du Roussillon. (Recherches de M. GAZZANIGA, publication en cours).

La pratique de l'*affouage* (droit de prendre le bois de chauffage dans le bois de la commune) est demeurée vivace, et les habitants y sont fort attachés. Ce droit est réservé aux habitants *domiciliés*. Les municipalités déterminent les zones de pâturage, les *dévez*, nomment le pâtre communal. Il y a un *taureau* communal. La reconnaissance aux municipalités, de la propriété des forêts et pâturages réduit les conflits avec l'Etat. Des communes elles-mêmes sont en conflit parfois depuis des siècles, pour l'attribution de pâturages.

A titre de comparaison également, il y a lieu de relever les données de droit et de fait révélés à l'occasion d'un conflit récent entre l'Etat et des communes de Cerdagne, Haut Conflent, Capcir, relativement à l'établissement de zones de tir dans la forêt de Barrès (près de Mont-Louis, Pyr. Or.) dans laquelle ces communes possèdent des droits d'usage. (Jugement du tribunal administratif de Montpellier du 28 février 1975. Pour la commune de la Liagonne, droit au bois de chauffage et au bois de construction; pour dix-sept communes, droit de parcours pour la transhumance, et de pâturage sur la forêt et les estives. La parenté des droits d'usage dans cette zone avec ceux qui existent en Donezan est certaine. De même, l'attachement des habitants à ces droits d'usage est très fort. Il est observé que « l'expert désigné eut beaucoup de difficultés à effectuer sa mission, en raison de la passion de certains

représentants communaux » et encore « La matière des droits d'usage a une valeur de symbole, à laquelle sont très attachées les communes bénéficiaires; il paraît difficile de changer les habitudes traditionnelles ».

Un autre témoignage actuel de la vigueur des attachements aux traditions, aux luttes du passé, et même de leur reviviscence est fourni par la réalisation sur la « Guerre des demoiselles », avec le concours des habitants, d'émissions historiques qui confinent au « sociodrame ».

III. — VERS LA PROBLÉMATIQUE ACTUELLE

La présente enquête étudie les traditions communautaires et les droits d'usage en vue d'une définition de l'« inculture » actuelle, et pour cheminer vers des propositions d'aménagement. On pourrait résumer l'évolution récente de la problématique — fort complexe — des droits d'usage autour de deux thèmes : l'un juridique; des conflits aux accords, l'autre économique-écologique : du sur-pâturage à l'inculture.

A. — ASPECT JURIDIQUE : des conflits aux accords.

La situation conflictuelle — diffuse ou aigue — entre les diverses parties prenantes a évolué récemment. Dans certaines régions montagneuses de la zone étudiée, les droits d'usage semblent partiellement abandonnés, toutefois des enquêtes plus fines pourraient révéler des survivances mal connues : (pays de Saulx, Cerdagne, Capcir). Dans le pays de Quérigut, bastion traditionnel des « droits d'usage montagnards », l'Etat et les communes ont cherché à pacifier leurs relations, et à poser, par voie d'accord, les bases d'une situation de droit acceptée par tous, permettant par la répartition spatiale des prérogatives, d'envisager plus librement le développement et l'exploitation rationnelle des ressources de

montagne. Un projet de transaction entre l'Etat et les communes avait été préparé en 1922, et n'avait pas abouti. L'affaire est reprise en 1964, à l'initiative de M. JUILLET, préfet de l'Ariège; elle donne lieu à la rédaction d'un projet, qui est à la base d'une convention, effectivement signée entre l'Etat et sept communes du canton de Quérigut en 1967 et 1968. Seule la commune de Quérigut a refusé de signer, et reste soumise à l'état de droit antérieur.

a) *sur la contestation traditionnelle relative à la propriété des forêts*, les communes reconnaissant à l'Etat la propriété des parcelles cadastrées au nom de l'Etat dans le cadastre de 1834. L'Etat reconnaît aux communes la propriété des parcelles cadastrées à leur nom. Quant aux parcelles dont l'attribution était l'objet de contestation, elles sont reconnues appartenir à l'Etat. Au cours des négociations, il avait été promis aux communes que l'Etat leur verserait 20 % des ressources provenant de ces dernières parcelles; mais du fait de l'opposition du ministre des finances, la disposition n'a pas été retenue dans le texte de l'accord.

b) *pour le bois de chauffage*. — A l'occasion de la convention de 1968, six communes ont reçu en propriété 100 à 200 ha de forêts chacune. Les habitants exercent sur ces forêts, sous le nom d'affouage, gratuitement, leur droit au bois de chauffage. En outre, une coupe peut être attribuée, dans les bois de l'Etat, sous le contrôle de l'O.N.F. Les habitants de la commune de Quérigut, qui n'a pas adhéré à la convention, continuent à payer une redevance pour le bois de feu.

c) *pour le bois de construction (marronage)*. La convention de 1968 confirme en somme et précise l'état de droit antérieur. L'Etat confirme aux habitants des communes le droit à tous les bois de marronage, moyennant la redevance de 10 F par m³ (révisible selon formule), mais seulement pour la réparation des bâtiments construits avant l'établissement du premier cadastre (1837). L'exercice de ce droit d'usage est soumis, de la part de l'O.N.F., à un contrôle strict et à une interprétation exagérément étroite, qui suscite les plaintes des intéressés. Les intéressés doivent d'abord fournir un devis; les

agents contrôlent la justification de la demande de réparation. La coupe est délivrée par l'administration et réalisée par entrepreneur. Les agents de l'O.N.F. vérifient ensuite si le bois délivré a été effectivement utilisé à la réparation de l'immeuble (pour éviter les fraudes). Des conditions strictes semblent avoir été imposées à une époque qu'il faudrait déterminer : le requérant doit être domicilié dans la commune (inscrit sur la liste électorale) et le bâtiment doit constituer son habitation principale. Ainsi le droit de marronage ne s'exercerait, ni sur les maisons construites postérieures à 1837, ni sur les bâtiments d'exploitation et à usage professionnel, ni sur les résidences secondaires et les maisons destinées à la location meublée. Ces restrictions empêchent, selon les habitants, le remplacement des maisons anciennes par des constructions modernes plus confortables, et gênent le développement du tourisme, qui devrait constituer une activité importante de cette zone. Les habitants ont le sentiment d'être spoliés de leurs droits par une règle injuste (qui pourrait probablement être l'objet d'un recours pour excès de pouvoir devant les tribunaux administratifs).

d) *pâturages* : les usages sont confirmés : les habitants des communes peuvent faire paître gratuitement le gros bétail dans les territoires de l'Etat et dans tous les vacants situés sur le territoire des communes, étant précisé que dans les bois et forêts, le pâturage ne sera permis que sur les cantons déclarés défensables.

Pour les moutons, les règles posées par le Code Forestier ne sont pas modifiées. Les habitants se plaignent actuellement de ce que l'exploitation pastorale risque d'être gênée par les plantations que l'O.N.F. effectue dans certaines clairières utilisées pour le passage des troupeaux, et dans les « jasses » où les bêtes avaient l'habitude de dormir et d'où elles sont maintenant exclues.

B. — ASPECT ÉCONOMICO-ÉCOLOGIQUE : de la surexploitation d'autrefois à l'inculture actuelle.

Les conditions de peuplement, et par conséquent, de l'emprise humaine sur la montagne, se sont pro-

fondement transformées au XX^e siècle, conférant une orientation nouvelle aux problèmes d'environnement et d'équilibre écologique. La montagne a été fortement peuplée sous l'Ancien Régime, et même surpeuplée à la fin du XVIII^e siècle et durant une partie du XIX^e. Les efforts de défrichement, la nécessité de droits d'usage sur les forêts, l'importance des activités pastorales étaient liés à cette situation démographique. Les précautions prises par l'administration pour défendre les forêts contre les dégradations, la tendance à réduire la portion des droits d'usage traditionnels correspondaient à cette situation.

Au cours du XX^e siècle, toutes les zones montagnardes pyrénéennes se dépeuplent, et le phénomène est particulièrement marqué dans nos secteurs (Pays de Sault, Quérigut, Conflent). La population de la commune de Quérigut est passée de 700 habitants en 1900 à 180. La diminution du cheptel est également impressionnante : en 1900, pour la seule commune de Quérigut, on dénombrait 200 bovins entre 1 et 3 ans, allant à la montagne, et 7 à 8 troupeaux de 300 bovins. Actuellement, 30 bêtes seulement vont à la montagne, une vingtaine sont encore utilisées pour le travail, un seul troupeau d'ovins de 300 têtes appartenant à un seul propriétaire.

Ainsi, réduction du cheptel de plus des quatre cinquièmes (cf. réduction des 4/5 du nombre d'habitants). Situation analogue dans les autres communes. Il faut prendre conscience du fait que l'*activité pastorale est en train de mourir*. Les habitants, découragés, considèrent que les jeunes s'en vont, que la vie se retire. Ils accusent, entre autres facteurs, cette réglementation inadéquate des usages, qui, au lieu de favoriser la vie des autochtones gêne les innovations et la recherche de nouvelles ressources (bétail étranger).

On est passé, au niveau des éco-systèmes, d'un risque de sur-pâturage au XVIII^e-XIX^e siècle, à une situation incontestable de sous-pâturage. Les chemins de parcours ne sont presque plus définis, de moins en moins de cantons sont déclarés défensables. Dans certains lieux, les habitants « lâchent » leur bétail dans la montagne, sans respect des règles, jugées surannées et inutiles. La régression de l'économie

pastorale, allant jusqu'à l'abandon des pâturages, est un facteur du processus d'inculture, et contribue à l'abandon de la montagne par les habitants jeunes, découragés par l'insuffisance des ressources et de l'emploi.

CONCLUSION

Résumons l'apport de l'étude de MIR :

« Le manque de bétail fait que les terres sont de moins en moins pâturées. Force est de reconnaître la sous-exploitation des vacants domaniaux. Leur état le confirme : une grande partie est envahie par la fougère, la bruyère, la myrtille, le rhododendron, les genêts, parfois même la végétation forestière, et tend à passer à la lande, faute d'être insuffisamment pâturée ».

Le nombre de bêtes des usagers est trop insuffisant pour permettre l'entretien des vastes étendues de vacants domaniaux. On ne peut empêcher la dégradation des pâturages, l'envahissement des végétaux ligneux, la prolifération des mauvaises espèces fourragères, l'insuffisance de fumure animale.

A cela, s'ajoutent les mauvaises habitudes prises par les usagers : ils laissent leurs bêtes pâturer dans les endroits d'accès plus commode ou ceux où l'herbe est de bonne qualité ; les autres surfaces herbagères moins appréciées du bétail, sont abandonnées ; leur état se dégrade alors qu'il conviendrait justement de les faire pâturer afin de les maintenir en bon état.

L'inculture signifie le déclin de la vie agricole. Bien qu'ils soient restés vivaces dans l'esprit de leurs titulaires, les droits d'usage dans le Quérigut sont en régression. Ils ont toujours été étroitement liés à la terre et à ses ressources. Appelés à disparaître, ils vouent de façon irrémédiable cette zone de montagne à l'abandon et à l'inculture. C'est d'autant plus regrettable lorsque l'on connaît les conséquences de l'abandon de l'espace naturel. (Dégradation des chemins, aggravation des risques d'incendie par embroussaillage des champs, voire à haute altitude augmentation des risques d'avalanche, accélération de l'érosion des sols, etc.).

Mais les hommes restent attachés à ces « droits » qu'ils ressentent comme élément important d'un « patrimoine » sans lequel ils perdraient leur identité, leur raison d'être dans ces montagnes austères. Ces « droits d'usage » apparaissent donc comme l'un des points d'appui possible dans un effort de renouveau.

Orientation prospective : Nous avons résumé, dans les pages qui précèdent, l'apport de l'équipe « législation » dans le cadre de l'action concertée du VI^e plan, destiné à connaître les différents composants des facteurs conduisant aux déséquilibres, les « clignotants » qui les exprimaient.

Dans le cadre de la nouvelle action (VII^e plan), l'équipe entend aller plus loin, en élargissant ses objectifs, compte tenu des connaissances et méthodes acquises, et de l'orientation « opérationnelle » de la nouvelle action collective. Elle a été définie par les responsables D.G.R.S.T., au cours du colloque sur le terrain des 3-5 juin, comme un acte de « gestion » des différentes composantes, en vue de les maîtriser. Au niveau des méthodes, nous relevons trois éléments d'importance : les techniques d'enquête « affinées » auprès des habitants, utilisées et mises au point par M. OGE pour le pays de Sault doivent être employées maintenant en Donezan, en vue de bien connaître les données actuelles, et les possibilités d'actions techniques et humaines. En outre, les contacts établis avec des personnalités locales révèlent plus précisément quels sont les espoirs, les inquiétudes, les « points forts » d'une action possible pour la sauvegarde de l'implantation humaine (et des équilibres qui en résultent). Les études sur le processus de « déprise agricole » de M. FABRE, qui révèlent les variables facteurs de « déprises » doivent être prises en compte pour établir une vue globale du problème de l'« in-culture » en Donezan, et des rééquilibrages possibles.

Au niveau de la « législation », nous vous proposons en priorité, de réaliser en Donezan, avec le concours des municipalités, une recherche des documents de la fin du XIX^e siècle et XX^e siècle, relatifs aux concessions des eaux, en vue de pouvoir définir les droits des communautés (et des habitants) sur les forces captées sur leur territoire (électricité). De même, des recherches plus poussées permettraient de

mieux saisir l'évolution récente des « droits d'usage », objet de difficultés entre l'O.N.F. et les habitants. Mais il faut envisager, de manière plus ample, le problème de la survie humaine en Donezan, et des avènements possibles des autochtones; ces éléments conditionnent, à leur tour, la possibilité d'établir un nouvel « équilibre écologique », qui ne saurait être identique à celui qui existait au XVIII^e et XIX^e siècle, avec une population au moins cinq fois supérieure à la population actuelle.

Nous nous proposons, dans le cadre du VII^e plan, sous réserve de disposer des moyens appropriés, d'effectuer les approches suivantes, pour le Donezan :

— Etude de l'évolution démographique, depuis la fin du XIX^e siècle, afin de déterminer le nombre actuel des « personnes actives », de leurs activités, des possibilités de remplacement, à court et moyen terme.

— Etude, par les cadastres et des enquêtes sur le terrain, de l'évolution des types de culture (céréales, prairies,...), en vue de déterminer quels types de culture pourraient être présumés rentables, compte tenu des données globales de l'économie contemporaine, et des conditions locales (climat, pentes, accès, nature des sols).

— Avec le concours de techniciens de l'agriculture et des responsables locaux, définir les conditions d'un nouveau développement : commercialisation des produits (routes), adoption d'un matériel adapté au terrain, spécialisation des terrains, rénovation du cheptel en vue de production rentables (et investissement pour ces différentes opérations).

— Un « projet d'aménagement » doit également prendre en compte les possibilités d'appoint constituées par le tourisme (résidences secondaires, hôtels, sentiers de randonnées), l'équipement de stations de ski, l'aménagement forestier, dans le respect du cadre de vie traditionnel.

Actuellement, le Donezan se trouve dans une spirale de récession démographique et économique, qui conduit à la disparition du système montagnard traditionnel. Nous nous proposons dans la nouvelle phase, de définir, au point de vue législation et économie, les données et les exigences d'un nouveau développement.

ÉTUDE SUR LES DROITS D'USAGE DANS LE PAYS DE SAULT

par F. OGE

Université des Sciences Sociales,
Place Anatole France, Toulouse

RÉSUMÉ

Après une étude de l'évolution des droits d'usage dans le pays de Sault (canton de Belcaire, département de l'Aude), évolution caractérisée par la non-application graduelle de ces droits, nous avons essayé de déterminer comment la population locale perçoit la politique de l'aménagement de la montagne. Un sondage d'opinion sur 8 % de la population a permis de révéler les problèmes de cette région. Le problème essentiel est celui de la démographie et nous devons d'urgence prendre des mesures pour stopper le mouvement de désertion dans cette région.

Au cours de l'année 1976, le groupe Législation travaillant sur les problèmes de l'inculture pyrénéenne a élargi son champ d'action, fixé primitivement à la zone Donezan, Capcir, Cerdagne, au pays de Sault. Ce « pays » forme une zone bien distincte, identifiable administrativement au canton de Belcaire (Aude), bon exemple de région de moyenne montagne. Sur un espace relativement restreint (27 770 hectares), à une altitude moyenne de 1 000 mètres, on retrouve la plupart des problèmes qui affectent le monde pyrénéen.

Le premier problème qui se soit présenté était d'ordre méthodologique. Comment étudier les droits d'usage dans le pays de Sault ? Comment évaluer leur importance pour la population ? Comment envisager un aménagement des droits particuliers de certaines communes ? Comment replacer l'évolution de ces droits par rapport à celle de la population concernée ?

Après avoir lu quelques études portant sur la région et sur ses particularités juridiques, il nous a

SUMMARY

After a description of the march of the uses in the "pays de Sault" (district of Belcaire, county of Aude), march distinguished by the gradual neglect of the uses, we have tried to determine how the local population is perceiving the management policy of the mountain. An opinion poll executed close to 8 % of the population has permitted to set off some of the problems of this area. The chief problem is a problem of demography and we must emphasize the urgency of taking steps to stop the death of this area

semblé fondamental de nous plonger dans le milieu de notre étude. S'il est indispensable de savoir comment les chercheurs toulousains ou parisiens envisagent le problème de la montagne, il est tout aussi indispensable à notre avis d'essayer de connaître et surtout de comprendre comment la population locale, première concernée, les ressent.

Pour cela, nous avons pris contact, commune par commune, avec le plus grand nombre de personnes possible : maires, conseillers municipaux, secrétaires de mairies, instituteurs, commerçants, forestiers, conseillers généraux, conseillers agricoles. Nous avons aussi essayé de consulter les archives municipales et nous avons également fouillé les archives départementales de l'Aude.

Puis nous avons élaboré un questionnaire couvrant l'ensemble des problèmes qui nous étaient posés. 280 exemplaires de ce questionnaire ont été distribués : 135 nous ont été rendus. C'est déjà suffisant pour avoir un aperçu assez complet de la situation, puisque cela représente 8 % de la population totale

du canton. Nous avons laissé, à la fin de notre questionnaire une feuille blanche à la disposition des personnes interrogées pour qu'elles y formulent les remarques particulières qu'elles pourraient faire et nous permettre de les tester sur leur connaissance des droits d'usage. Cette feuille blanche a été particulièrement enrichissante. Mais, il nous faut le répéter, nous pensons qu'il est essentiel pour le chercheur de se plonger longtemps dans le milieu étudié pour lui permettre d'essayer de le comprendre. Les « mounagnols à l'individualisme outrancier » dont parle Michel CHEVALLIER dans sa thèse sur la vie humaine dans les Pyrénées ariégeoises ne se livrent pas facilement et il faut d'abord en quelque sorte parvenir à « faire partie du paysage ». N'oublions pas que les questionnaires élaborés dans le passé (questionnaire Dougados à la suite de l'instruction ministérielle du 26 juillet 1844, questionnaire des commissions cantonales à la suite de la circulaire ministérielle du 15 février 1855, questionnaire de 1896 à la suite de la délibération du conseil général de l'Aude sur proposition de monsieur CROS-MAYREVIEILLE) n'ont guère été remplis dans cette région où la population a tendance à se méfier de tout ce qui peut sembler venir de l'extérieur, l'extérieur commençant aux limites du canton.

Si nous pouvons nous montrer satisfaits du nombre global de réponses à notre questionnaire, il nous faut souligner la très grande variation de ce nombre selon les villages. Cette variation tient non à des facteurs sociaux, économiques ou politiques mais à des problèmes d'« esprit ». Si dans certaines communes, les questionnaires ont tous été remplis (Mérial, Belfort, Roquefeuil par exemple), dans d'autres par contre nous n'avons obtenu de réponses que du maire et parfois difficilement (Comus, Camurac par exemple).

LES DROITS D'USAGE DANS LE PAYS DE SAULT EN THÉORIE.

Par droits d'usage, les habitants du pays de Sault entendent exclusivement les droits sur les forêts de l'Etat. Trois types de situation peuvent se présenter.

En premier lieu, les communes qui n'ont plus aucun droit : Joucou, La Fajolle, Belfort, Espezel, Comus, Roquefeuil, Aunat, Niort.

En second lieu, les communes qui en échange de leurs droits ont procédé au cantonnement. Belcaire l'a fait en 1875 mais d'autres communes sont parvenues à un accord avec l'O.N.F. plus récemment. La commune de Camurac, dont les habitants possédaient un droit de maronnage (17 m³ par propriétaire par an), est arrivée à faire admettre par les propriétaires qu'ils lui abandonnent ce droit de façon à alimenter le budget communal. Le cas de la commune de Belvis nous a semblé particulièrement intéressant par l'évolution des mentalités qu'il permet de montrer. Par lettre patente de 1754 (renouvelant une lettre de 1680), la commune s'était fait reconnaître quatre droits dans la forêt domaniale : droit de parcours, droit de pâturage, droit aux rémanents, droit au bois de construction. Depuis vingt ans, les trois premiers droits ont pratiquement disparu. L'O.N.F. a proposé en mai 1971 de procéder à une uniformisation. En même temps, l'O.N.F. voulait limiter la possibilité d'user du droit au bois de construction aux bâtiments inscrits au cadastre de 1832 ainsi qu'aux habitants résidant plus de six mois par an dans la commune. En effet, en 1968, sur 380 m³ de bois d'usage attribués, 17 m³ seulement allèrent aux résidents à plein temps de la commune (98 résidences secondaires pour 138 résidences en tout). Finalement le 1^{er} janvier 1976, le conseil municipal a accepté le cantonnement contre 34 hectares de forêt domaniale qui rapportent 120 m³ de bois par an, ce qui permet de payer les intérêts de l'emprunt qui avait été nécessaire pour financer les travaux d'équipement collectif.

La même évolution est prévisible pour les communes qui ont encore conservé leurs anciens droits : Coudons (qui a encore le droit aux rémanents), Rodome (droit au bois de chauffage, droit au bois de construction ou droit de maronnage conformément aux ordonnances de 1675 et 1754 et à l'article 123 de l'ordonnance réglementaire du 1^{er} août 1827, droit de parcours du bétail en forêt domaniale), Mazuby (droit au bois de chauffage à raison de 10 m³ par foyer, droit au bois de construction tel que

défini par l'article 123 de l'ordonnance réglementaire du 1^{er} août 1827), Campagne-de-Sault (droit au bois de construction conformément à l'article 123 de l'ordonnance réglementaire du 1^{er} août 1827).

Le cas d'une commune comme Merial peut aussi servir d'exemple. La population y confond droit d'usage en forêt domaniale et droit sur les forêts appartenant à la commune. Alors qu'il y a eu cantonnement (d'ailleurs avantageux pour la commune) les habitants, même le maire, appellent « droit d'usage héréditaire » les coupes qu'ils font pour s'approvisionner en bois de construction dans la forêt appartenant à la commune.

QUE SONT DEVENUS EN RÉALITÉ LES DROITS D'USAGE DES COMMUNES SUR LES FORÊTS DOMANIALES ?

Dans la pratique, il semble bien que la lutte de longue haleine engagée entre l'ancienne administration des eaux et forêts ou l'O.N.F. actuel et les communes quant aux modalités d'application de ces droits, se solde à l'heure actuelle par un léger avantage pour l'O.N.F. L'Office a réussi peu à peu à limiter le droit d'usage au bois de construction, en affirmant par exemple qu'il ne pouvait pas s'appliquer aux constructions postérieures à l'établissement du cadastre de 1832 ou à la promulgation du code forestier de 1827, en le refusant aux propriétaires de résidences secondaires.

De tous les droits d'usage, c'est celui au bois de construction qui suscite le plus d'intérêt. Il est important pour les communes de savoir dans quelle mesure elles peuvent l'utiliser car dans le cas des résidences secondaires, c'est un argument de valeur pour décider des acheteurs éventuels : le coût de la réparation de ces résidences peut beaucoup varier en fonction de la possibilité d'obtenir gratuitement ou non le bois nécessaire. En effet, même si l'O.N.F. veut refuser le droit au bois de construction pour les résidences secondaires, dans des communes comme Mazuby ou Belvis (avant l'accord de cantonnement de 1976), ce droit était utilisé sans distinctions entre les affectations des bâtiments.

LE PROBLÈME DE L'UTILISATION DES PATURAGES D'ALTITUDE.

Si jusqu'aux premières années du vingtième siècle, on a pratiqué dans le pays de Sault une certaine polyculture où le sarrasin et la pomme de terre dominaient, déjà c'était l'élevage qui prédominait. C'est l'importance de cet élevage qui explique en partie le droit de vaine pâture qui existait alors. Les communes de Nior et Mazuby en avaient demandé expressément le maintien à la suite des lois des 9 juillet 1889 et 22 juin 1890, et ailleurs ce droit continuait d'être exercé généralement en tant que simple tolérance. Simple tolérance de droit mais usage respecté par tous en fait, la vaine pâture explique en partie les paysages de champs ouverts qui caractérisaient ce pays. Ce n'est que depuis cinq ou six ans, après le remembrement, que l'on voit apparaître des clôtures.

Qu'éleve-t-on dans le pays de Sault ? Essentielle-ment des bovins à l'heure actuelle. Ce sont eux qui sont envoyés dans les « estives ». Contrairement au canton d'Axat, les pâturages d'altitude appartiennent aux communes. Jusqu'à présent, les tentatives de regroupement de ces communes en une association pastorale ont échoué, ce qui explique en fonction de la politique suivie par celles-ci la sous-exploitation ou la sur-exploitation de ces pâturages.

Mais, actuellement, les communes concernées ne semblent pas encore prêtes à adopter une politique de groupe ni même à vouloir s'engager à moyenne ou longue échéance par des contrats de location et d'aménagement des pâturages d'altitude. Il y a un gros effort à faire dans ce sens si on veut d'une part éviter la dégradation de ces pâturages en imposant une exploitation réfléchie et d'autre part permettre aux agriculteurs qui travaillent les terres plus riches des plateaux et de la vallée du Rebenty de survivre. Il faut trouver des solutions nouvelles à ce problème de l'utilisation des pâturages d'altitude. N'oublions pas que si en 1914, les bêtes y restaient du 15 juin au 15 septembre, la période d'estive s'étend maintenant du 15 mai au 15 octobre et libère d'autant les terres « d'en bas ».

Les modes d'exploitation de ces terres « d'en bas » sont en train de se moderniser rapidement grâce au remembrement et avec le départ des vieux agriculteurs. Mais les plantations de résineux pratiquées parfois sur d'excellentes terres posent un épineux problème du fait des conséquences fiscales (diminution des revenus locaux par le jeu des exemptions d'impôt), écologiques (appauvrissement des terrains voisins selon certains), économiques (rareté des terres cultivables) qu'elles entraînent.

Si l'on peut se féliciter de cette tendance à l'amélioration des modes de culture des terres d'« en bas » avec toutefois des réserves sur l'affectation de certaines parcelles à telle ou telle production, il ne faut pas ignorer que c'est un autre problème qui intéresse d'abord les populations locales : celui de l'évolution démographique.

LE PROBLÈME DÉMOGRAPHIQUE.

C'est celui qui a été le plus soulevé dans la page libre de notre questionnaire : « A quoi bon s'occuper des droits d'usage, puisque dans vingt ans il n'y aura plus personne pour s'en servir ? » « Il fallait s'intéresser à nous avant. Maintenant, il est trop tard. Voilà quinze ans qu'il n'y a pas eu une seule naissance ». « Comment éviter la dégradation de notre montagne alors que nous ne sommes plus que des vieux ? » « Les sapins envahiront même nos cimetières. Il n'y aura personne pour les couper ».

Déjà, G. BERTRAND, dans un article sur la vie pastorale et l'industrie dans le canton des Cabannes de la Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest en 1963, avait parlé d'effondrement démographique. Le même phénomène se constate dans le canton de Belcaire : à Belcaire même, 1 000 habitants en 1910, moins de 300 actuellement, à La Fajolle 300 en 1910, 30 maintenant. Soixante-dix pour cent de retraités parmi ceux qui restent.

L'AVENIR.

Quand il n'y a plus d'école, comment inciter un jeune à s'établir ? Lorsqu'il s'installe quand même,

que faire s'il ne trouve aucune femme pour partager sa vie ? Qui peut, sans se poser de questions, l'inviter à travailler sa terre s'il doit le faire seul ou s'il doit s'endetter pour trente ans pour acheter des terres qui trouvent des acquéreurs au prix fort pour y construire un chalet basque ou y planter des résineux ? Comment arriver à concilier les exigences des touristes, dont la présence ranime les villages pendant une période trop courte, et celles des habitants à temps complet ?

A nos yeux, le maintien des habitants des montagnes et la conservation de la nature où ils vivent vont de pair. Il est urgent de rechercher des solutions permettant à ces habitants de survivre dans leur pays. Combien seront encore là dans dix ans et pour y faire quoi ? Ne faut-il pas craindre de se retrouver devant un mouvement de désertification en spirale (le départ d'une famille d'agriculteurs entraîne le départ de l'épicier, suivi de celui du cafetier, puis de l'instituteur, du secrétaire de mairie, et enfin des autres agriculteurs) qui va de pair avec une occupation des villages du samedi à seize heures jusqu'au dimanche à dix huit heures et du premier juin au quinze septembre ? Mais n'oublions pas que cette occupation temporaire a des effets totalement différents sur la faune (abandon des cultures de céréales, des grands champs de pomme de terre, etc.), sur la flore (avancée des buissons et taillis surtout dans les pentes, retour naturel ou provoqué de la forêt), sur tout le paysage (abandon de la plupart des sentiers, fin de l'entretien des murs de soutènement des terrasses, abandon des bâtiments non destinés à l'établissement de résidences secondaires corrélativement avec l'apparition d'un habitat temporaire au style discutable...). Les habitants du pays de Sault sont bien conscients du problème et lancent un appel au secours. Mais en même temps il ne se font guère d'illusions. La majorité a perdu confiance dans l'avenir.

Notre rôle est de l'aider à l'envisager sous de meilleures auspices et cela n'ira pas sans difficultés. Il sera facile de s'en rendre compte en consultant les résultats de notre sondage. L'énoncé de ces résultats permet, pensons-nous, de donner une photographie, incomplète mais déjà significative, de quel-

ques-uns des problèmes qui se posent à la population locale. Dans le cadre des recherches en cours, nous améliorons cette photographie en étudiant les structures d'âge des habitants, l'organisation économique (circuits de distribution, types de produits « exportés » par la zone étudiée, modes d'exploitation en agriculture, etc...). Dans ce genre de recherche, l'entrevue enregistrée, l'entretien au bord du chemin ou dans le champ donnent des résultats aussi intéressants parfois que le questionnaire rempli le soir avant de se coucher. Il faut jouer sur plusieurs claviers de sensibilité et d'approche pour arriver à saisir correctement les problèmes de cette région tels qu'ils sont perçus par sa population ou tels qu'elle croit qu'on les perçoit. C'est pourquoi, et nous le répétons, nous croyons aux vertus du travail sur le terrain, travail de longue haleine au cours duquel le chercheur, tout en gardant une vision globale des problèmes, doit viser l'intégration la plus complète possible au milieu et aux hommes qui le peuplent. Ce n'est qu'ainsi qu'il peut parvenir à faire comprendre par ceux-ci le « pourquoi » et le « comment » de sa démarche et obtenir petit à petit leur collaboration, ce qui facilitera dans l'avenir la participation des populations locales à l'élaboration d'une politique d'aménagement de leur région et permettra d'avoir quelque espoir dans le succès de son application.

BIBLIOGRAPHIE

- ARQUE (P.), 1943. — Géographie des Pyrénées. P.U.F., Paris, 210 p.
- BARANTE (C.). — Essai sur le département de l'Aude adressé au Ministère de l'Intérieur. L. Sestrié, Genève, 283 p.
- BECKER (G.), 1950. — La lutte éternelle du « bois » et du « plain ». *Annales E.S.C.*, 3.
- CHABROL (P.), 1949. — Potentiel sylvo-pastoral des Pyrénées françaises. *Annales de la Fédération d'Economie Montagnarde*, xv, 104-124.
- CHABROL (P.), 1958. — Le problème forestier dans l'Aude. *Rev. Economie régionale Midi-Pyrénées*.
- DEFFONTAINES (P.), 1949. — L'homme et la forêt. Gallimard, Paris, 187 p.
- DEVÈZE (M.), 1965. — Histoire des forêts. P.U.F., Paris, 127 p.
- DOCUMENTATION FRANÇAISE, 1975. — La forêt en France, n° 283, Paris.
- FALVELLY (de), 1937. — Les forêts de l'Aude et le rôle de l'Administration forestière dans ce département. *Annales de la Fédération Pyrénéenne d'Economie Montagnarde*, vi, 65-81.
- GACHON (L.), 1950. — France rurale d'aujourd'hui. *Annales E.S.C.*, 4.
- MEYER (F.), 1968. — Législation et politique forestière. Berger-Levrault, Paris.
- MOULIS (Abbé P.). — Le Pays de Sault. Recherches historiques. L. Bonnefons, Carcassonne, 140 p.
- NOILHAN (H.), 1965. — Histoire de l'agriculture à l'ère industrielle. De Boccard, Paris.
- PELLEGRIN, 1937. — L'agriculture du pays de Sault. *Annales de la Fédération Pyrénéenne d'Economie Montagnarde*, vi, 39-47.
- PEYRAT (R.) et ROUSSEL (M.), 1974. — L'action en commun des agriculteurs. J.B. Baillière, Paris.
- PONS (P.), 1949. — Valeur économique de l'élevage pyrénéen. *Annales de la Fédération Pyrénéenne d'Economie Montagnarde*, xv, 43-55.
- RAYNAUD (E.L.), 1914. — Les usages locaux de la haute vallée de l'Aude. Rivière, Toulouse.
- RIVALS (J.), 1901. — L'agriculture dans le département de l'Aude. Paris.
- SÉNÉCA (A.), 1973. — Cadres et bases de la vie économique et rurale. J.B. Baillière, Paris.
- SOURD (L.J.), 1975. — Agriculture et croissance économique. J.B. Baillière, Paris.
- VIDALENC (J.), 1969. — Le peuple des campagnes. Marcel Rivière et Cie, Paris.
- VIERS (G.), 1970. — Géographie des forêts. P.U.F., Paris, 219 p.

RESULTATS DE NOTRE ENQUETE SUR LE PAYS DE SAULT

I — La question des droits d'usage dans les forêts domaniales

	Oui	Non	Possible	Probable	Pas sûr	Ne sait pas
1) Pensez-vous que les droits d'usage ont toujours de l'importance ?	100	15				20
2) Pensez-vous que ces droits d'usage sont respectés ?	52	32	17	7	15	15
3) Pensez-vous que si les droits d'usage se perdent, c'est par la faute des habitants ?	40	85		4	2	4
4) Connaissez-vous bien les droits d'usage que vous avez ?	50	40			30	12
5) Pensez-vous que, depuis les années 1950, les droits d'usage sont appliqués avec la même rigueur qu'auparavant ?	25	64			20	22
6) Si on donne comme référence les dates de 1930, 1900 et 1824, on a le nombre des non qui augmente jusqu'à 77, celui des oui en légère baisse, les ignorants augmentent aussi						
7) Faut-il uniformiser les droits d'usage qu'ont les communes ?	80	19	25			

Si on compare ce que l'on sait déjà sur l'existence des droits d'usage, on s'aperçoit que dans l'esprit de la population il y a encore une certaine confusion puisque les habitants estiment que les droits d'usage ont toujours de l'importance alors que presque toutes les communes les ont perdus.

II — Le problème de l'utilisation des pâturages communautaires

1) Pensez-vous que les droits sur les pâturages de montagne ont toujours la même importance pour les habitants de votre village ?	90	15			7	16
2) Pensez-vous qu'ils soient désuets ?	20	80	7		9	12
3) Pensez-vous qu'une réglementation plus moderne soit nécessaire ?	92	5	10	13	5	10
4) L'utilisation des pâturages de montagne est-elle encore rentable pour les agriculteurs ?	112	13	5			5
5) La protection de la forêt est-elle plus importante pour vous que le maintien des droits sur les pâturages ?	45	77		1	6	6
6) Les communes ont-elles intérêt à développer le reboisement plutôt qu'à entretenir les pâturages ?	20	70	5		25	15
7) Les exploitants de propriétés remembrées sont-ils encore intéressés par l'utilisation des pâturages de montagne ?	90	10	7			15
8) La politique de reboisement est-elle compatible avec le maintien des droits sur les pâturages ?	80	25	5	5	5	15

Nous avons donc une forte majorité de la population favorable à l'utilisation des pâturages d'altitude et au développement de cette utilisation. Plus les personnes interrogées sont jeunes, plus elles sont contre les possibilités d'un reboisement des terres exploitables. Quelles sont les relations des habitants avec les forêts qui les entourent ?

	Oui	Non	Possible	Probable	Pas sûr	Ne sait pas
III — Habitants et forêts						
1) Le reboisement est-il plus rentable que l'élevage ?	15	90	5	5	10	10
2) Pensez-vous que le reboisement en résineux soit un bien pour les communes ?	100	10		10	5	10
3) Pensez-vous que le reboisement en résineux soit un bien pour les particuliers ?	95	10	15		10	10
4) Pensez-vous que l'accès aux forêts publiques doit être restreint ?	42	72	20			

Il est intéressant de voir que l'on a une minorité importante en faveur d'une restriction de l'accès aux forêts publiques. Si les habitants pensent que le reboisement est moins rentable que l'élevage, presque tous pourtant y sont favorables.

IV — Tourisme et vie en montagne

1) Le développement du tourisme d'été est-il compatible avec le maintien de l'agriculture ?	90	25	3		12	5
2) Le développement du tourisme d'hiver est-il compatible avec le maintien de l'agriculture ?	107	12			10	5
3) Pensez-vous que le tourisme crée des dégâts au milieu qui vous entoure ?	40	65	20	10		
4) Doit-on limiter le tourisme en pays de montagne ?	45	75	5	15		

Remarquons le partage des opinions sur les questions 3 et 4, qui explique peut-être certains phénomènes de rejet.

V — L'avenir de la montagne

1) Croyez-vous à l'avenir de l'agriculture de montagne ?	65	30	15	5	17	
2) Doit-on développer la politique spéciale d'agriculture de montagne ?	123	4			8	
3) Faut-il réenvisager les bases de cette politique ?	120	4		7		4
4) Estimez-vous que l'action des SAFER est utile ?	34	70			16	15
5) Pensez-vous que les villages de montagne vont continuer à se maintenir ?	10	35	25	20	30	
6) Pensez-vous que les villages de montagne vont connaître un nouveau développement ?	10	45	22	8	33	
7) Pensez-vous que les villages de montagne vont continuer à mourir ?	92	19	10		11	3
8) Les droits des habitants qui vivent en permanence dans la montagne sont-ils assez protégés ?	15	80	5	10	20	5
9) L'action des étrangers au village (sociétés ou particuliers) doit-elle être limitée par la loi ?	102	20	2	3		8
10) Pensez-vous que les pays de montagne doivent bénéficier d'une législation particulière ?	110	5		10	5	5
11) Cette législation doit-elle viser d'abord la protection du milieu plutôt que celle des habitants ?	20	50		15		35

Si d'une part, les personnes interrogées sont optimistes quant à l'avenir de l'agriculture de leur région, d'autre part, on ne peut pas ne pas entendre l'appel au secours que les habitants lancent : ils ne croient plus à l'avenir des villages qu'ils peuplent et demandent une intervention rapide et efficace de l'État. Des lois spéciales pourront-elles sauver les villages concernés ? Quelles mesures doit-on proposer ?

RÉFLEXION MÉTHODOLOGIQUE PRÉALABLE A L'AMÉNAGEMENT DE LA MONTAGNE

Rapport de synthèse de l'action "Inculture Pyrénéenne" DGRST 1972-76

par P. REY

1. — AMÉNAGEMENT ET MODÉLISATION

Contrairement à la *mise en valeur*, qui se propose des objectifs à courte et moyenne échéance, l'*aménagement* a des perspectives plus lointaines. En dépit de la confusion trop souvent entretenue entre ces deux termes, à la suite d'un incontestable abus de langage (1), il convient de faire une distinction fondamentale entre ces deux notions.

Le milieu montagnard n'échappe pas à cette règle. Ce que l'on appelle, depuis longtemps, l'aménagement hydro-électrique, ou plus récemment, l'aménagement touristique, ou celui d'une station de ski, constituent, quelle que soit leur ampleur, des opérations partielles, sectorielles, d'exploitation d'une partie seulement des possibilités offertes par le milieu. Ce ne sont pas autre chose que des options de mise en valeur, au même titre que le thermalisme, l'élevage, la pisciculture, ou le reboisement. Seul, parmi ces options, l'aménagement forestier conserve, avec ses trois termes d'*inventaire*, de *possibilité* et de *révolution*, une unité de conception plus responsable, maintenant la garantie d'un équilibre dans le temps,

ou tout au moins la possibilité d'estimation d'un bilan entre une situation initiale et une situation terminale. C'est à l'intérieur d'un aménagement que doivent pouvoir se développer des opérations de mise en valeur (reboisement, construction de routes... pour rester dans l'exemple forestier).

Dans une saine conception d'une hypothèse de gestion rationnelle des ressources naturelles renouvelables, on peut concevoir que plusieurs options de mise en valeur soient susceptibles de concourir à l'instauration d'un aménagement régional équilibré. La prospective est délicate, car l'excès est vite atteint où telle ou telle forme de mise en valeur, trop privilégiée, détourne à son profit des possibilités d'espace, de temps ou d'énergie, au détriment d'autres options trop vite qualifiées de concurrentielles, alors qu'elles pourraient être complémentaires. Le point de non retour est parfois atteint, où telle option n'est plus possible, ses déterminants ayant été dérouterés vers un autre objectif.

Il est patent, en outre, sur un même territoire, que plusieurs options de mise en valeur se sont successivement accumulées, laissant sur le terrain des traces d'autant plus visibles que l'action aura été plus intense, ou plus récente.

Il est reconnu, depuis longtemps, que le révélateur essentiel de ces traces est constitué par le paysage végétal, qui intègre à la fois des potentialités natu-

(1) Cf. par exemple, l'identité des objectifs de la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne et de la Société de Mise en valeur de la Corse.

relles permises par le milieu (*vocations*) et les seuils d'artificialisation imposés par l'homme, selon une palette très variée — et très variable — d'*affectations*, depuis toutes les formes de culture, de sylviculture, de pastoralisme, jusqu'aux formes de « remplacement » ou *substitution* : urbanisation, réseaux de communication, industrialisation, grands travaux d'équipement, etc.

Ces traces modelant le paysage se distribuent dans l'espace géographique, selon des *modèles* qui traduisent à la fois les relations spatiales immédiates perceptibles entre le paysage, ses déterminants écologiques, et l'action de l'homme ou de son troupeau, mais aussi, — et là réside sans doute leur intérêt majeur —, les relations temporelles entre ces divers éléments, qu'il s'agisse de leur comportement ancien, explicatif de la situation actuelle, ou des tendances évolutives qu'ils manifestent à la recherche d'un nouvel équilibre, constamment remis en cause par les variations des forces le régissant.

On peut qualifier de *dynécologiques* de tels modèles ainsi référencés par rapport à l'espace et au temps. Par rapport à la modélisation traditionnelle, on peut proposer que ces modèles cartographiques puissent constituer la projection horizontale à l'instant t, des modèles verticaux explorant le fonctionnement d'un système.

Plus précisément, en ce qui concerne l'économie montagnarde, deux systèmes, ou groupes de systèmes, sont actuellement affrontés :

— les premiers, héritiers de l'antique et traditionnelle formule d'exploitation agro-sylvo-pastorale du milieu, s'attachent, peut-être depuis le Néolithique, à modeler l'exploitation des ressources montagnardes, dans l'étroite liberté de manœuvre que laisse la rigueur des conditions écologiques locales, mais aussi dans un cadre énergétique d'une richesse exceptionnelle, qu'il s'agisse de l'eau ou du soleil;

— les seconds, précisément attirés par ces deux richesses énergétiques, tendent à se substituer aux premiers, soit en mettant à profit leur déprise ou leur désherence, soit en contribuant, par un détournement énergétique prématuré, à l'accélération de leur abandon.

Ainsi peuvent être perçus plusieurs types de modèles cartographiques, selon la dynamique relative des deux systèmes :

a) *modèles agro-sylvo-pastoraux*, sous trois formes :

- modèles d'exploitation équilibrée
- modèles extensifs
- modèles de déprise.

b) *modèles de substitution* :

- substitution énergétique
- substitution de transfert
- substitution touristique, résidentielle, sportive.

Chacun de ces modèles admet plusieurs étapes d'agression vis-à-vis des autres selon qu'ils s'insèrent plus ou moins modestement dans l'espace, concourant ainsi à une exploitation « intégrée » des ressources, ou qu'ils prennent peu à peu un développement tel que la stérilisation d'autres formes de gestion en est la conséquence.

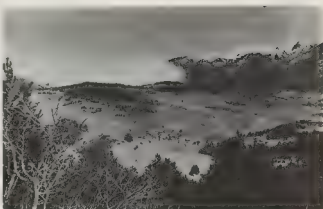
Il faudrait, à ce sujet, se garder de la double tendance simpliste qui consisterait, d'une part à privilégier les modèles « chlorophylliens » au détriment des autres, d'autre part à considérer la substitution comme moderne et l'agro-sylvo-pastoral dépassé : la montagne garde encore la trace de substitutions énergétiques anciennes et excessives, telles que les forges à la catalane, comme celle de substitutions thermales, exploitées dès l'Antiquité et injustement tombées en désuétude en dépit des perspectives crénothérapiques ou géothermiques qu'elles offrent.

La perspective d'une saine gestion des ressources naturelles « renouvelables » en montagne passe ainsi par la prise en compte de *modèles d'aménagement* qui sauraient faire la part d'un juste équilibre entre les diverses formes de mise en valeur, traduites par les modèles qui viennent d'être évoqués. Encore convient-il d'observer que la situation actuelle de distribution des dits modèles est une *situation de crise* :

— d'un côté (modèles « chlorophylliens »), une très large partie du territoire montagnard est le siège depuis plus d'un demi-siècle d'un intense phénomène de déprise, si bien que se généralisent des



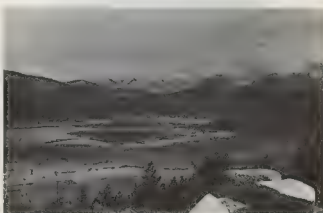
Mijanes, village « solaire »



Capcir Rieutort et barrière climatique du Carcanet



Donezan modèle d'inculture



Capcir, Quillane et Haut-Consent



Survivance agricole



Les Angles, « substitution résidentielle »



Inculture sur prairie de fauche

modèles d'inculture (sans pour autant, d'ailleurs, qu'aient été supprimés des modèles locaux de surexploitation, pastorale ou autre);

— de l'autre côté, la pression humaine moderne s'exerce, au moins par endroits, avec une telle intensité que la substitution énergétique ou touristique prend des allures qui confinent à la démence, ou tout au moins expriment une méconnaissance profonde des équilibres naturels.

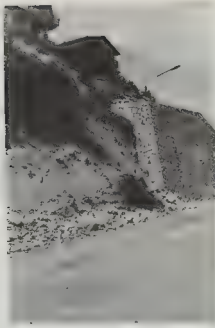
Tant et si bien qu'une telle situation dicte la démarche à entreprendre, préalablement à tout essai rationnel d'aménagement :

— connaissance objective instantanée de l'état des systèmes, traduit par leurs traces dynécologiques;

— appréciation de la « sensibilité » et de la « possibilité » régionales aux diverses options de mise en valeur;

— évaluation des temps de réalisation, et des bilans de fonctionnement, sans lesquels aucune responsabilité de gestion ne saurait être assurée.

Trois termes rappelant ceux de l'Aménagement forestier (Inventaire, Possibilité, Révolution), modèle d'Aménagement.



Les Angles : substitution résidentielle

2. — L'ACTION

« INCULTURE PYRÉNÉENNE »

C'est pour répondre à de telles préoccupations qu'a été développée, de 1972 à 1976, l'action D.G.R.S.T., désignée sous le nom de code « Inculture Pyrénéenne ». Bien que cette formulation abrégée ne représente qu'une partie des thèmes explorés, elle reste significative d'une situation de fait, prépondérante sur l'ensemble de la Chaîne, et suffisamment déterminante vis-à-vis des perspectives de gestion. Le terme ne signifie cependant pas, tout au contraire, que toute hypothèse de reprise « culturale » doive être systématiquement écartée.

Le groupe des laboratoires associés à cette action s'est attaché, avant tout, à dégager des perspectives méthodologiques dans les domaines de sa compétence. Il reste parfaitement conscient du fait que des créneaux entiers de la prospective montagnarde n'ont pas été abordés, tout au moins à titre principal (citons simplement : l'élevage, la sylviculture, la

démographie, le thermalisme, la biologie humaine, l'économie et l'administration).

Inversement, il a pu paraître étrange, face à ces évidentes lacunes, qu'aient été explorés des axes de recherche d'allure aberrante ou centrifuge par rapport aux objectifs poursuivis : la faune du sol ou l'historique des droits d'usage entrent dans cette catégorie. L'expérience prouve, aujourd'hui, que les résultats de ces deux contributions sont des plus riches en enseignements quant à la « sensibilité » des milieux (2).

Ces réserves faites sur l'unité d'action, rejoignent dans la critique des résultats les entorses à l'unité de lieu, car si l'intérêt est vite apparu de concentrer les efforts des diverses équipes sur un secteur géographique privilégié, il n'en est pas moins paru absolument indispensable de laisser se développer certaines études dans d'autres secteurs montagnards, où elles bénéficieraient d'une infrastructure scientifique très précieuse dont il eût été extrêmement préjudiciable de se priver par purisme excessif, tout au moins dans les débuts de l'action (il s'agit essentiellement de recherches conduites dans les Pyrénées centrales auprès des laboratoires d'appui d'Orédon et du Pic du Midi de Bigorre).

Quant à l'unité de temps, il est bien évident que l'action entreprise prend en compte un ensemble de méthodes dont certaines avaient été élaborées plus tôt et dans d'autres cadres, mais trouvent ici un champ d'application privilégié : les procédés de synthèse cartographique additive ou soustractive, la reconstitution de l'ensoleillement, la comptabilité écologique, témoignent ici de cet effort de regroupement méthodologique conduit au bénéfice d'un thème d'aménagement.

Le secteur géographique choisi comme cadre privilégié de cette étude concerne trois cantons de haute montagne pyrénéenne :

— le canton de Quérigut, département de l'Ariège Région Midi-Pyrénées.

— les cantons de Mont-Louis et Saillagouse, département des Pyrénées Orientales — Région Languedoc-Roussillon.

L'hétérogénéité administrative du territoire (que vient encore accentuer l'enclave espagnole de Llívia) souligne combien le poids de l'Histoire impose aux modèles économiques un cadre fort différent de celui que suggère l'examen des conditions écologiques et des ressources naturelles. L'ensemble considéré constitue, en effet, une unité biogéographique exceptionnelle formée de trois « pays » : Donezan, Capcir, Cerdagne, dont les limites coïncident en gros avec les trois cantons ci-dessus désignés, sans cependant que la superposition des deux cadres soit parfaite : on ne peut manquer d'être frappé par le caractère de complémentarité écologique qu'apportent dans chaque unité administrative les portions de territoire comprises entre les tracés différents des deux zonages (Cf. Atlas, planche 1).

L'originalité du territoire tient d'abord à des circonstances géographiques : vastes surfaces de hauts plateaux, encadrés par trois puissants massifs montagneux : Madres à l'Est; Puigmal-Cadi au Sud Ouest et Sud; Carlit-Tarbezou à l'Ouest et au Nord Ouest, que séparent les trois profondes et étroites coupures de l'Aude au Nord, de la Têt à l'Est, du Sègre au Sud Ouest

L'isolement biogéographique qui en résulte confère à l'ensemble des caractéristiques particulières, déjà maintes fois soulignées, tant sur les plans climatique ou biologique, que touristique ou énergétique ou historique. Une information exceptionnellement abondante et riche a été acquise sur tout le territoire, tant il est vrai que la région, depuis près de deux siècles, a largement motivé explorateurs et chercheurs.

L'endémisme floristique et faunistique vient confirmer ce caractère exceptionnel : certains secteurs, tels la Vallée d'Eyne, le Massif du Llaurenti, le Désert du Carlit, constituent des hauts lieux de survivance qu'il serait largement dommageable de voir sacrifier à d'autres intérêts, et qui appellent d'urgentes mesures de protection.

(2) Il convient de noter, en outre, que l'action « Inculture Pyrénéenne » a été conduite, pour l'essentiel, dans le cadre du Comité DGRST « Equilibres et lutte biologiques » avant d'être orientée vers des perspectives de « Gestion des ressources naturelles renouvelables ».

L'exploitation agro-sylvo-pastorale, qui a longtemps constitué le fond de l'activité économique, et l'est encore en dépit d'une déprise accentuée, témoigne d'une exacte adaptation de l'action humaine aux possibilités et aux contraintes du milieu : l'implantation de l'habitat, la distribution des affectations, culturelle, herbagère, forestière, pastorale, piscicole, cynégétique, et leur évolution diachronique restent en étroit rapport avec les caractéristiques écologiques et énergétiques. A plusieurs reprises, les congrès périodiques de la Fédération Pyrénéenne d'Economie Montagnarde en ont, en leur temps, analysé les aspects et accumulé, notamment sur le plan de l'élevage et de la transhumance, une masse considérable d'informations qu'il suffirait d'adapter sans effort superflu aux exigences modernes de l'aménagement.

Riche d'enseignements, la région l'est encore au titre de l'Histoire : elle constitue une illustration remarquable de la complexité du monde pyrénéen, où le droit d'usage de la montagne, qui a des racines écologiques, maintient, quelles qu'en soient les vicissitudes administratives, sa légitime hypothèque sur l'aménagement : une décision récente du tribunal administratif de Montpellier apporte la preuve que les libéralités du Roi d'Aragon (1302) restent toujours lettres étonnamment vivantes.

C'est enfin au titre de la substitution que l'exemplarité régionale mérite d'être retenue : trois options de mise en valeur, l'une en sommeil ou potentielle, la seconde bien implantée, la troisième explosive, se partagent la « possibilité » :

- à la substitution thermique, jadis très florissante en Cerdagne et haute vallée de l'Aude, aujourd'hui réduite pratiquement à un droit d'usage thermal confinant au folklore, pourrait succéder une option géothermique rénouvée, éventuellement associée à la crénothérapie ou bien aux autres formes d'exploitation énergétique qui s'esquissent au niveau solaire, tant sur le plan climatique et thérapeutique que sur le plan thermo-électrosolaire, amorcé par les installations de Font-Romeu;

- l'équipement hydro-électrique, improprement qualifié d'aménagement, offre l'exemple remarquable

d'une impitoyable continuité de vues, « au fil de l'eau » et « au fil du temps » : les installations de la haute vallée de l'Aude en sont l'illustration évidente depuis les premières réalisations de F. ESTRASSE, jusqu'aux récents ouvrages modernes de toute taille (Grand barrage de Matemale et développement systématique des prises d'eau sur le moindre torrent);

- dernière venue, mais la plus spectaculaire, la substitution touristique, résidentielle et sportive, impose aux vieux paysages son déterminisme indélébile. C'est à son propos que peuvent être posées les interrogations les plus angoissantes quant à la finalité de telles implantations et à leur influence sur l'avenir de l'aménagement montagnard

Ainsi donc, la région Donezan, Capcir, Cerdagne constitue-t-elle une plateforme de démonstrations propres à éclairer une réflexion globale sur l'aménagement de la montagne, dans les limites que s'est assigné la présente action, c'est-à-dire celle d'une recherche méthodologique propre à l'expression des modèles et à la mise en évidence de facteurs de sensibilité, sans qu'il soit possible à ce stade de privilégier telle ou telle option, ou de formuler pour la région considérée un corpus exhaustif d'études et de recommandations. Aussi bien, le souci des équipes engagées dans l'action « Inculture Pyrénéenne » n'était-il pas de reconstituer une fois de plus les conditions et les perspectives d'un aménagement régional, mais de dégager quelques règles d'intervention susceptibles d'être exploitées en toute autre circonstance de temps, de lieu, ou de moyens.

3. — L'EXPRESSION DES MODÈLES

L'expression des modèles procède de l'exploitation d'un thésaurus préalablement acquis, s'appuie sur une méthodologie de prospective cartographique expérimentale, débouche sur des propositions de régionalisation et de zonage.

1. Le thesaurus de base qu'il convient de mobiliser est de double nature :

— a) A ce jour, la plus grande partie des territoires de montagne (sous deux ans, leur totalité), a fait l'objet, en France, d'une cartographie phytogéographique systématique, à la double échelle du 50 000^e (manuscrit) et du 200 000^e, ou du 100 000^e (publication) : Carte de la Végétation du C.N.R.S. et Travaux du Laboratoire de Botanique de Grenoble. Ces documents, auxquels s'ajoute l'information accumulée pour leur réalisation (statistiques, observations, relevés de terrains, photographies aériennes, cartographie annexe, etc.) doivent pouvoir constituer, moyennant quelques opérations d'actualisation éventuellement nécessaires, la base fondamentale d'une prospective d'aménagement.

L'étude conduite sous le titre « Comptabilité écologique à moyenne échelle » (M. IZARD) en apporte la démonstration :

- mise en évidence des caractéristiques régionales;
- analyse cartographique qualitative pour la recherche des critères majeurs de régionalisation et d'expression écologique;
- exploitation quantitative du fichier écologique, nourri par l'analyse cartographique (méthodes CEPE-SCV), permettant l'expression d'une statistique écologique, largement plus informée que la statistique traditionnellement disponible, et surtout susceptible de « sorties opérationnelles » à la demande de thèmes inhabituels (« Energie solaire » par exemple).

Le recours préalable à l'interprétation phytocartographique de documents réellement disponibles nous paraît donc constituer un facteur significatif d'économie de temps et de moyens, car quelles qu'en soient les imperfections et les lacunes, ces éléments représentent une sérieuse garantie contre le double emploi et assurent aux investigateurs et aménagistes une connaissance de base précieuse à l'intelligence de leurs actions.

— b) La deuxième source d'information, complémentaire (et partiellement génératrice de la première), concerne la photographie aérienne et la télédétection. La contribution n° 3, « L'imagerie aérienne et son

exploitation en région de montagne » (P. REY), tend à en dégager les conditions d'utilisation pratique pour le domaine montagnard (les conclusions en seraient tout autres en pays de plaine).

On retiendra de cette analyse :

- le caractère absolument obligatoire du recours à l'exploitation de missions photographiques de base, à l'échelle du 1/15 000^e et, si possible, sur émulsions infra-rouge fausses couleurs;
- l'intérêt des missions « diachroniques » permettant d'explorer les vitesses d'évolution et de variation des modèles, sur une période de trente ans, selon une périodicité de prise de vues de l'ordre de dix ans (soit, quatre missions disponibles sur un même site, dans la presque totalité du domaine montagnard français);
- le caractère moins évident des perspectives d'exploitation des images de télédétection, à l'exception, sur imagerie Landsat :
 - 1) de l'interprétation « Régionalisation à très petite échelle »,
 - 2) de l'interprétation climatique, notamment quant à la reconstitution possible de l'évolution de l'enneigement d'un massif, (Cf. Atlas, planche 2).

avec la réserve, hélas fréquente, de non disponibilité d'images pour les secteurs ou les moments à considérer;

- la supériorité des traitements analogiques sur les traitements numériques, tant que les innombrables facteurs d'altération des signatures régnant en montagne n'auront pas donné lieu à des processus de discrimination d'une sécurité satisfaisante.

2. La méthodologie de « prospective cartographique expérimentale » s'exerce à plusieurs niveaux :

— a) Au niveau des processus dynécologiques élémentaires, où doivent être combinés :

- les observations classiques sur l'évolution des paysages végétaux dans leur double signification de vocation et d'affectation (Cf. Etude n° 1 « Expression cartographique de modèles dynécologiques en région de montagne » P. REY),

● et le traitement des images photographiques en équidensités colorées (Cf. Etude n° 3, P. REY, déjà citée) qui se montre particulièrement efficace pour révéler les tendances et les sens d'évolution, comme l'ampleur et la vitesse des phénomènes (Cf. Atlas, planches 3 à 8).

L'atlas méthodologique en fournit plusieurs exemples dans l'expression des principaux modèles déjà évoqués : exploitation agro-sylvo-pastorale traditionnelle, modèles d'inculture, régression forestière, substitution hydroélectrique, substitution touristique et sportive. Pour chacun de ces documents, l'examen attentif des limites d'équipages révèle des informations dynécologiques, que le document original renferme bien, mais n'exprime pas toujours avec assez d'évidence.

— b) Au niveau du transfert de la modélisation cartographique à la modélisation numérique, en suivant le protocole opérationnel ci-après :

● expression de modèles dynécologiques régionaux, esquissant, sur le plan qualitatif, l'organisation du paysage dans son interprétation vis-à-vis des systèmes d'exploitation (Cf. Etude n° 1, P. REY);

● cartographie détaillée du modèle, comprenant :

— la reconstitution diachronique de son évolution, par photo-interprétation de missions successives, sur une dérivée de 30 ans;

— la représentation cartographique, à même échelle, de facteurs susceptibles de concourir au fonctionnement du modèle (cartes paramétriques);

— l'esquisse synthétique du dynamisme affectant le modèle, tel qu'il ressort de la comparaison « analogique » des deux types de documents précédents.

(Cf. Contribution n° 4 « Quelques aspects de la déprise agricole en région de montagne » A. FABRE, ainsi que les deux cartes de l'Atlas : planches 9 et 10 : « Déprise agricole Donezan » et « Dynamique de l'inculture Donezan »).

● exploitation quantitative de l'information cartographique, conduisant, moyennant un échantillonnage approprié, à l'esquisse d'une modélisation numérique qui permet d'estimer les causes, la vitesse et les perspectives d'évolution des parcelles

culturelles abandonnées ou en voie d'abandon. (Cf. Etude n° 4, A. FABRE, ci-dessus citée).

— c) Au niveau de l'expression régionale des facteurs écologiques les plus significatifs, groupés dans trois types de documents à valeur synthétique :

● l'expression simplifiée de la cartographie de la végétation (Cf. Etude n° 1, P. REY et Atlas, Planche 11, Végétation, H. CASANOVA, extrait de la Carte de la Végétation, traité de manière à mettre le mieux possible en évidence les deux axes fondamentaux de la modélisation — vocation et affectation — par un emploi judicieux de la teinte et de sa saturation);

● l'expression « énergétique » des conditions d'ensoleillement, selon le protocole opérationnel mis au point par C. ARLES et développé dans sa contribution n° 5 « Méthode analogique de cartographie de l'ensoleillement théorique journalier », qui a donné lieu à la réalisation de plusieurs cartes régionales présentées dans l'Atlas (planches 12 à 16) (Durées d'ensoleillement théorique journalier aux solstices d'Hiver, d'Été et aux Equinoxes; Séquences d'ensoleillement journalier théorique; Seuils d'énergie solaire potentielle);

● l'expression « géodynamique » du substrat, constituée, sur la base de la carte hypsométrique, par la synthèse des éléments suivants :

— carte géologique, interprétée sous l'angle de la lithologie,

— carte des pentes et des orientations,

— carte hydrologique et esquisse hydrogéologique exprimant l'organisation des bassins versants et leurs caractéristiques de capacité et de débit. (Cf. Etudes n° 7 et 8, Y. GOURINARD et B. DONVILLE, voir *infra*).

3. L'ensemble des réalisations précédentes conduit à des propositions concrètes de régionalisation, c'est-à-dire de délimitation d'ensembles ou sous-ensembles géographiques, définis par un même type d'organisation dynécologique associant dans des combinaisons significatives et hiérarchisées, les diverses variables du milieu et les modalités de l'action humaine.

Deux types de « traitement cartographique » peuvent conduire à cette expression :

- Par *synthèse cartographique additive*, c'est-à-dire par superposition des diverses cartes ci-dessus, disponibles à la même échelle, peuvent être « visualisées » des ensembles cohérents, et suggérées des corrélations entre facteurs.

La méthode, inspirée par H. GAUSSEN (1926) a fait l'objet, au S.C.V.-C.N.R.S., de nombreuses applications, dont deux en montagne (Aménagement du canton d'Oust (Ariège) et Bases biogéographiques de l'Aménagement de la Haute Vallée de l'Adour). Appliquée à la région Donezan, Capcir, Cerdagne, elle apporte des arguments précieux, et les diverses combinaisons de superposition possibles, réalisées en laboratoire sur table éclairante, suggèrent très rapidement des critères objectifs de délimitation.

- Par *synthèse cartographique soustractive*, peuvent être affinées certaines approches thématiques que la méthode précédente se montre moins apte à révéler. L'exemple traité ici est celui de la recherche des meilleurs sites possibles d'installation de centrales électro-solaires. La contribution n° 6 « Une alternative énergétique dans le Donezan-Capcir-Cerdagne : l'Energie solaire » (P.J. ROCA) en expose la méthodologie (voir aussi n° 5, C. ARLES).

La superposition de cartes paramétriques préalablement traitées dans l'optique du thème, chaque facteur faisant l'objet d'une estimation modulée : favorable, neutre, défavorable, conduit à l'élimination successive de zones médiocres ou inefficaces et à la sélection progressive des rares territoires où l'ensemble des facteurs analysés permet de faire face aux exigences technologiques du projet.

(L'Atlas présente, en une collection de 7 cartes en noir, l'illustration simple de cette méthode, qui pourrait être affinée et modulée par des superpositions colorées) (planches 19 à 24 et planche 12).

Le résultat de ces divers traitements analogiques, dans lesquels auraient pu intervenir plusieurs autres cartes paramétriques (climat, pédologie, démographie, production végétale et animale, richesse floristique, endémisme, etc.), conduit à des *propositions de régionalisation* dont on trouvera l'esquisse en conclusion de l'Atlas (planche 25).

4. — LA SENSIBILITÉ A L'AMÉNAGEMENT

Dans le jeu alterné des modèles d'inculture et de substitution, les diverses options de mise en valeur qui se juxtaposent ou se succèdent laissent ou déterminent, au sein des équilibres biocoenotiques préétablis, des traces plus ou moins profondes, dont les conséquences sur l'évolution des modèles peuvent être appréciées en recourant à l'analyse des facteurs de sensibilité. Tant au niveau du substrat, qu'au niveau biologique, de nombreux éléments minéraux ou organiques, vivants ou non vivants, de l'écosystème montagnard sont susceptibles d'être altérés et leur éventuelle fragilité à telle ou telle option, — ou à tel ou tel excès ou défaut de l'option — peut être utilisée comme un signe sensible de l'aptitude régionale à supporter ou exclure telle ou telle formule de gestion.

Le nombre de ces facteurs sensibles est sans doute très grand, et l'action « Inculture Pyrénéenne » a pu seulement aborder l'étude de quelques-uns d'entre eux, parfois à l'extérieur du périmètre d'étude privilégié. Ainsi, sans donner à leur description un caractère exhaustif auquel ils ne prétendent pas, peut-on évoquer successivement les résultats méthodologiques acquis dans les 12 contributions couvertes par le programme.

4.1. SENSIBILITÉ DU SUBSTRAT.

a) La préoccupation fondamentale préalable à tout aménagement concerne bien évidemment le *terrain* sur lequel doit se développer l'opération. La sensibilité prend ici un sens de *vulnérabilité*, comme l'indique le propos de la contribution n° 7 « Possibilités d'intervention géologique en aménagement » (B. DONVILLE et Y. GOURINARD) et la carte correspondante de l'Atlas (Planche 17).

Il a paru aux auteurs que l'expression la plus significative de cette notion reposait sur la combinaison du facteur lithologie et du facteur pente. Six classes pour le premier et trois pour le second, conduisent à la définition de 18 zones « d'égalé

valeur de vulnérabilité ». On notera, en particulier, le caractère d'instabilité accentuée que prennent les versants constitués de « Néogène » et de Moraines, même en pentes moyennes, où les dangers de dégradation sont réels.

b) Le second facteur sensible est celui des conditions de circulation et d'utilisation de l'eau, souterraine et superficielle. La contribution n° 8 « Etude des facteurs du bilan de l'eau en bassins non organisés » (B. DONVILLE), fait apparaître :

- une incontestable carence dans la saisie des données nécessaires (l'hétérogénéité des données disponibles, et la dispersion administrative des sources de renseignements ne facilitant pas l'enquête), avec corrélativement une liste de mesures simples susceptibles de la pallier;
- l'intérêt de la notion de bassin versant dans la régionalisation et la modélisation;
- Le caractère précaire des réserves possibles (dans l'éventualité de besoins accrus sous prétexte touristique ou énergétique).

c) Un troisième signe sensible concerne les secteurs d'instabilité les plus apparents. L'étude n° 9 « Recensement des secteurs d'instabilité géomorphologique et de leurs déterminants » (H. DREZET) développe une méthodologie de surveillance et de métrologie de l'évolution géomorphologique sur sites-tests convenablement choisis. La méthode, à base de stéréophotogrammétrie terrestre, fait apparaître à la fois l'intérêt d'un tel recensement, mais la nécessité de développer l'expérience sur une période de temps très largement supérieure à la période exploitée, si l'on veut obtenir, même en secteurs réputés instables, des signes significatifs d'évolution. Ceci suggérant l'intérêt de protocoles expérimentaux de surveillance à très long terme, qui ne semblent pouvoir être conçus que dans des conditions permanentes de sécurité d'observation (Parcs nationaux, par exemple).

4.2. SENSIBILITÉ ÉDAPHIQUE ET ÉCOPHYSIOLOGIQUE.

Quatre contributions ont été consacrées à l'étude du comportement des éléments minéraux et orga-

niques des sols de montagne vis-à-vis des scénarios de sous-exploitation, de sur-exploitation agricole, pastorale ou forestière, ainsi que dans les conditions naturelles, mais limitantes des milieux de très haute altitude.

a) Une seule de ces études « Modalités et conséquences de la régression de l'Agriculture dans la commune de Quérigut » (C. TOSCA) n° 10, concerne la région orientale pyrénéenne, et vient directement compléter l'essai de modélisation de l'inculture décrit plus haut (A. FABRE, n° 4), en apportant d'indispensables compléments sur le rôle du sol dans le processus d'abandon, sur les vitesses et tendances d'évolution de la pédogénèse en liaison avec l'inculture, et sur le caractère alarmant de la dégradation pédologique liée à la forme la plus récente de surexploitation (Epicéas = arbres de Noël).

b) Deux autres contributions ont été acquises à la suite d'investigations conduites dans les Pyrénées centrales, avec l'appui du Laboratoire d'Ecologie du Pic du Midi de Bigorre. Elles concernent :

- L'étude n° 11 « Dynamique de la matière organique dans les sols alpins » (L. LABROUE et C. TOSCA), qui met en évidence l'intensité de l'activité microbiologique, en dépit de la rigueur climatique, et permet d'entrevoir l'évolution du « bilan d'organo-masse » selon les variations de la pression pastorale à haute altitude, et la situation écologique des versants.
- L'étude n° 12 « La pédogénèse à l'étage alpin — Relations avec l'évolution des versants » (L. LABROUE et C. TOSCA), qui, résumant de patientes observations acquises dans le cadre de thèses de doctorat, reconstitue la dynamique des « toposéquences » alpines, ouvrant la voie à l'étude intégrée d'un écosystème original.

c) Une dernière contribution, non publiée ici, mais déjà disponible dans la revue « Fourrages », a été consacrée par C. TOSCA, dans le cadre du programme D.G.R.S.T. à « l'Ecologie des pelouses subalpines des Pyrénées centrales : productivité et évolution » : sur la base d'une étude qualitative puis quantitative des pâturages ont été conduites des me-

sures de productivité puis des essais d'amendement et de fumure qui mettent notamment en évidence une très nette carence en phosphore, sensible au niveau de la production et de la qualité pastorale des herbages.

4.3. SENSIBILITÉ BIOLOGIQUE TERRESTRE.

a) Un axe de recherche avait été, dès le début de l'action, exploré dans le sens des « signatures mycologiques de l'inculture ». La contribution n° 13 : « Recherche de signatures mycologiques des divers stades de l'inculture pyrénéenne » (J. FAYRET, J. DARDENNE, C. MONTANT) en commente les résultats. S'il apparaît bien qu'une certaine correspondance puisse être observée entre les deux phénomènes, la confirmation quantitative expérimentale de la corrélation eut entraîné un protocole de travaux exigeant des moyens et une durée largement supérieurs à ce que l'action concertée pouvait lui consentir. Les investigations prévues n'ont donc pu être poursuivies au-delà d'une exploitation préliminaire, qui laisse cependant entrevoir d'éventuelles perspectives de prolongement, par exemple dans la sélection, en vue de leur utilisation pratique, de souches « cellulolytiques » capables d'intervenir dans la biodégradation des masses végétales non pâturées et génératrices de glissement intempestif du manteau neigeux.

b) La faune du sol se révèle également sensible, non pas seulement aux variations de l'inculture, mais surtout aux agressions liées à la substitution. L'étude n° 14, conduite par L. BONNET, P. CASSAGNAU, L. DEHARVENG, sous le titre « Influence du déboisement et du reboisement sur les biocoénoses de collemboles dans quelques sols pyrénéens », s'est proposé comme terrains d'observations :

- 1/ les saignées ouvertes en milieu forestier par des pistes de ski, télésièges ou lignes de transport de force,
- 2/ la reprise forestière par reboisement de prairies.

On retiendra de cette étude deux types de conclusions :

- sur le plan écologique, les exemples d'agression décrits entraînent des ruptures d'équilibres biocoénologiques au niveau de la microfaune, qui ne se colmatent qu'imparfaitement, quel que soit le sens de l'agression;
- sur le plan méthodologique, les méthodes statistiques utilisées (Analyse des correspondances et Nuées dynamiques) ont pu être soumises à une critique d'efficacité quant à la stratégie de leur emploi en Biocoenotique quantitative.

c) Un indicateur biologique particulièrement sensible se révèle être le comportement des « Fourmis rousses des bois (*Formica rufa*), indicateurs biologiques de dégradation des forêts de montagne des Pyrénées Orientales » (C. TOROSSIAN), étude n° 15. Dans une palette très étalée de peuplements forestiers de Pins à crochets offrant tous les termes de passage entre la forêt naturelle et quasi-déserte (type Osséja) et des cantons très perturbés, à la limite d'une urbanisation intense (type Font-Romeu), l'étude met en place un gradient de sensibilité fondé sur les variations du comportement des colonies, variations décelables par le nombre, le volume, la densité des nids, d'autant plus rares, volumineux et denses que le milieu est moins perturbé. Une voie de recherche complémentaire s'amorce dans l'étude des conditions d'éclaircissement des sites les plus représentatifs de cette évolution.

4.4. SENSIBILITÉ HYDROBIOLOGIQUE.

Les milieux aquatiques se révèlent particulièrement sensibles aux perturbations liées à l'activité humaine, surtout lorsque celles-ci s'exercent selon des pressions saisonnières brutales d'hiver ou d'été, correspondant aux périodes de fréquentation touristique maxima. S'ajoutant aux perturbations toujours intempestives inhérentes aux variations des besoins hydro-électriques, les rivières de montagne sont ainsi le siège d'incessantes et dangereuses fluctuations.

L'étude n° 16 conduite dans la Lladure (bassin versant de l'Aude) par H. DECAMPS et J.Y. PUJOL « Influences humaines sur le benthos d'un ruisseau

de montagne », apporte, sur le plan méthodologique, une intéressante contribution :

- Le bassin étudié constitue un bon prototype d'une situation de bassin de montagne : toutes les formes d'exploitation, d'inculture, et de substitution y sont représentées.
- Les perturbations temporaires, échelonnées dans l'espace et le temps, entraînent des réactions très significatives du benthos, et les « vitesses de récupération » des équilibres périodiquement compromis peuvent être évaluées avec précision.
- L'étude a fait apparaître l'inadéquation des tests et indices biologiques utilisés en plaine, pour les eaux froides et bien oxygénées de montagne, et donc la nécessité de rechercher de meilleures méthodes d'évaluation de la sensibilité.
- La procédure utilisée semble susceptible d'extension à un système de surveillance biologique valable au moins pour l'ensemble pyrénéen et qui pourrait donner lieu à des recommandations « thérapeutiques », esquisse d'un réaménagement rationnel de tels milieux.

De l'ensemble de ces contributions à l'étude des facteurs sensibles, et surtout peut-être des dernières, se dégagent, non sans doute encore des perspectives de gestion, mais des indications sérieuses de possibilités de mise en place de « clignotants de sensibilité ». Sous le contrôle de la régionalisation évoquée plus haut, un tel réseau de surveillance devrait être capable, vis-à-vis des diverses options de mise en valeur, et selon leur intensité, de guider l'aménagement et d'en faciliter la gestion. Encore faut-il espérer que l'Homme, dans son emprise sur la montagne sache faire une juste part à un ensemble d'options équilibrées, sans avoir la tentation de privilégier exagérément telle ou telle d'entre elles au gré d'une conjoncture brillante, mais peut-être sans lendemain.

5. — LE DROIT A L'USAGE DE LA MONTAGNE

Un dernier faisceau de recherches intégrées dans l'action « Inculture Pyrénéenne » s'est attaché à l'étu-

de des aspects historiques et juridiques de l'exploitation du territoire montagnard, dont un « indicateur de sensibilité » particulièrement vivace reste toujours perceptible, sous la forme de « droits d'usage » : leur persistance dans l'économie moderne pose à l'aménagiste un problème qui ne saurait être éludé. Soutenues par des investigations d'archives qui se sont révélées fort riches d'enseignements, et qui traduisent un lacs de relations et dispositions d'une extrême complexité, ces recherches ont abouti à la rédaction des deux dernières contributions à l'action concertée.

Sous les titres « Les droits d'usage : histoire, actualité, prospective » (G. SICARD) n° 17 et « Etude sur les droits d'usage dans le pays de Sault » (F. OGE) n° 18, sont exposées, non seulement les origines historiques de ces droits et leurs vicissitudes anciennes ou récentes, mais aussi, à la suite d'enquêtes sur place, leur résonance et leur survivance auprès de la population. Ces deux études auxquelles s'ajoutent les larges dépouillements d'archives et d'enquêtes réalisées par A. MIR et NGUYEN THE ANH, témoignent de la vivacité toujours actuelle de la conscience de ces droits et montrent combien les « usagers » — résiduels ou potentiels — se révèlent sensibles à leur évolution.

Droits d'affouage, de pâturage, de marronage, pour ne citer que les principaux, avaient été consentis, dans cette région, comme dans l'ensemble de la région pyrénéenne, successivement par les Rois d'Aragon, les Comtes de Foix, les Rois de Navarre, puis de France. Confirmés par la Révolution, ils persistent toujours, en dépit de leur déshérence ou de leur cantonnement. La situation du Donezan se révèle particulièrement complexe (« domaine engagé » par Louis XIV en 1611) : elle n'a trouvé un début de solution que dans la convention intervenue en 1964 entre l'Etat et les communes.

Ces droits ont incontestablement des racines écologiques : ils s'insèrent étroitement dans le système agro-sylvo-pastoral traditionnel, représentant pour les populations qui en bénéficient la possibilité d'un usage rationnel du patrimoine commun. Jointes aux organisations de « syndicats de vallée », complétées par les traités de « lies et passeries » réglant de part et d'autre des frontières des échanges pastoraux

induits par la complémentarité écologique des sous-landes aragonaises et des ombrées « countadès », ils ont permis au système de vivre et de faire face, tant bien que mal, aux fluctuations démographiques, si sensibles en économie fermée.

Que ces droits aient souvent dégénéré en abus, c'est incontestable, — la « Réformation de de Froi-DOUR » en porte témoignage, — mais la tendance moderne, qui, mettant à profit l'effondrement du système, semble conduire à leur extinction, vient peut-être à l'encontre d'une saine conception de la gestion montagnarde.

On peut ainsi se demander si, dominant une stérile querelle entre des droits surannés, prétendus abusifs et qu'il conviendrait de laisser s'éteindre, et le maintien de dispositions qui, en fait bien souvent, ne correspondent plus à rien, il ne se dégage pas la perspective, pour l'avenir de l'aménagement, d'une rénovation de ces droits, sous forme de *droit à l'usage*.

Il faut reconnaître, en effet, que les systèmes de substitution, déjà réalisés, en cours ou en projet, sont bien des exercices d'usage, donnant à leurs tenants l'accès et l'usage des mêmes biens patrimoniaux que ceux de l'ancien système. Même si cet usage a pour légitime contrepartie les habituelles contributions et redevances à l'Etat ou aux collectivités locales, on peut observer que cette charge fiscale, même lourde, n'est peut-être pas toujours à la mesure de la pression nouvelle exercée par l'homme sur le milieu. Tout se passe donc comme si une nouvelle forme de droit d'usage s'était instaurée sans dire son nom. Ne paraît-il pas dès lors presque ridicule de consentir implicitement aux options de substitution cette moderne dévolution de droits que l'on refuse aux formes d'exploitation anciennes, sans qu'il soit possible de les restaurer lorsque l'occasion se présenterait de leur réhabilitation. (La restriction apportée au droit de marronnage est significative à cet égard).

Pourquoi donc ne pas tendre, sous une forme administrative à innover, à généraliser cette notion de droit à l'usage de la montagne, pour qu'il soit applicable à toute option de mise en valeur, sous réserve d'un exercice raisonnable et contrôlé. Pourquoi ne pas saisir, dans ce potentiel venu du fond des âges, une chance nouvelle de rénovation de l'aménagement montagnard ?

BIBLIOGRAPHIE

- BABONNEAU (L.), 1942. — L'énergie électrique dans la région pyrénéenne. 320 p. Privat, Toulouse.
- BECAT (J.), 1977. — Problèmes et aspects de l'aménagement des Pyrénées en Catalogne nord. *Bull. Soc. Lang. Géogr.*, 3, 11, 153-183.
- FEL (A.), 1964. — Géographie humaine du Capcir (Pyrénées orientales). *Bull. Soc. Lang. Géogr.*, 2, 35, 419-441.
- GAUSSEN (H.), 1926. — Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. *Sol. Climat, Végétation. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 55, 4-564.
- GAUSSEN (H.), 1934. — Géographie botanique et agricole des Pyrénées Orientales. *Doc. Cartes Product. Végét.*, Série Pyrénées, 392 p.
- IRLAT (P.), 1950. — Le Donezan. Un type de « pays » pyrénéen. *Bull. Soc. Lang. Géogr.*, 2, 21, 3-80.
- JEANBERNAT (E.) et TIMBAL-LAGRAVE (E.), 1879. — Le massif du Laurenti (Pyrénées françaises). *Géographie, Géologie, Botanique*, 434 p., Toulouse.
- JEANBERNAT (E.) et TIMBAL-LAGRAVE (E.), 1886. — Le Capcir, canton de Montlouis (Pyrénées Orientales), 252 p., Paris.
- MORQUER (R.) et TOUVET (A.), 1972. — Etude expérimentale de la résistance des espèces forestières au parasitisme par le *Clutocye mellea* (Vahl) Ricken. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 274, 1038-1043.
- TERRISSE (A. et J.), 1976. — Compte-rendu de la troisième session extraordinaire de la S.B.C.O. tenue à Mijanès (Ariège) du 10 au 15 juillet 1976. *Bull. Soc. Bot. Centre Ouest*, 7, 51-70.

CONCLUSIONS

L'ensemble des travaux présentés ci-dessus conduit à formuler les conclusions suivantes, au niveau des trois ordres d'objectifs fixés dès le début de l'action : Inculture, Substitution, Aménagement.

MODÈLES D'INCULTURE.

- Les modalités de la dépression humaine en montagne se traduisent par des « modèles cartographiques » significatifs d'une « remontée biologique » dont rend compte l'analyse phytogéographique des paysages et surtout l'interprétation dynamique des photographies aériennes, traitées en équidensités colorées.

- La comparaison de modèles cartographiques successifs conduit à l'expression de modèles diachroniques, dont l'exploitation, éclairée par une cartographie paramétrique annexe, peut alimenter des programmes de modélisation numérique dont l'objet peut être affecté à l'explication, puis à la prédiction des processus d'inculture.

- L'évolution des sols, le comportement dynamique de la végétation et, dans une moindre mesure, les transformations de la mycoflore, constituent de bons réactifs du degré d'inculture et des déséquilibres entraînés par l'accélération de certains processus, les conséquences de l'inculture semblant d'autant plus dommageables que l'exploitation antérieure a été plus intensive.

MODÈLES DE SUBSTITUTION.

- Le traitement des photographies aériennes par équidensités colorées constitue un bon révélateur de

la dynamique des modèles de substitution : les formes d'agression touristique et résidentielle sur le milieu montagnard paraissent plus pernicieuses, — en raison de leur caractère diffus, voire « insidieux », — que les formes de substitution énergétique, sans doute plus brutales, mais mieux cicatrisées.

- Les signatures entomologiques de la substitution sont très hautement significatives du degré d'altération et de dégradation du milieu forestier; les signatures pédozoologiques apportent la confirmation des déséquilibres enregistrés par le milieu, mais ne sauraient jouer qu'un rôle secondaire dans la mise en évidence des dégradations que d'autres méthodes de détection expriment plus aisément.

- Les milieux aquatiques se révèlent sensibles aux différents types de substitution et, plus particulièrement, à la pollution saisonnière consécutive au tourisme d'été et d'hiver. La mise en évidence de ce cycle saisonnier devrait conduire à la définition de protocoles plus efficaces de correction des débits liés à une nécessaire « maîtrise biologique » de l'eau.

MODÈLES D'AMÉNAGEMENT.

- Le préalable fondamental de l'aménagement montagnard réside dans la distribution géographique des conditions énergétiques : atmosphériques (soleil et climat) et édaphiques (roches, sol, circulation des eaux libres et souterraines). C'est sur la base de documents cartographiques exprimant ces données que doit raisonnablement reposer tout programme concret de gestion.

- La diversité écologique régionale trouve une juste représentation dans un zonage géographique où

les éléments hydrologiques et topographiques constituent les critères primordiaux. Chaque unité élémentaire de ce zonage peut faire utilement l'objet d'une estimation de sensibilité aux options de l'Aménagement.

● L'interprétation «écologique» des droits d'usage établis de temps immémorial sur la montagne pyrénéenne

conduit à la recommandation de voir rénover et actualiser ces dispositions dans les structures économiques nouvelles qu'impose l'aménagement montagnard, et que semblent souhaiter les usagers de la montagne dont le souci le plus fermement exprimé est qu'elles n'interviennent pas trop tard.

P. REY

RÉSUMÉS DE THÈSES

LOUIS LABROUE. — *Étude écologique des sols alpins du Pic du Midi de Bigorre*. Thèse de Doctorat d'Etat présentée devant l'Université Paul Sabatier à Toulouse, le 14 juin 1976. (Jury : P. Rey, J. Carles, P. Cassagnau, P. Lossaint, J. Rösch, P. Tardieux).

Ce travail, qui représente une contribution à la connaissance du fonctionnement des zones périglaciaires, a pu être réalisé grâce à l'appui d'une infrastructure expérimentale exceptionnelle à plus de 2 800 m d'altitude, au Pic du Midi de Bigorre (Htes Pyrénées); les caractéristiques climatiques, géomorphologiques, édaphiques et botaniques de ce sommet avancé des Pyrénées sont indiquées dans l'introduction.

Le premier chapitre traite des *facteurs exogènes de formation des sols* à haute altitude. Les conditions climatiques locales sont définies avec précision, à partir de la documentation météorologique importante déjà recueillie au Pic, mais surtout grâce à une expérimentation conduite « in situ ». L'accent est mis sur la variabilité de la durée d'enneigement et sur la grande disparité des climats radiatifs, entraînant des différences importantes des températures de surface, surtout en période estivale; le climat du versant Nord y présente des analogies avec celui des zones arctiques, celui de versant Sud avec les hautes montagnes subtropicales.

Le substrat géomorphologique diffère selon les versants : formes et microformes sont liées à la nature des roches et aux phénomènes périglaciaires : gélifraction différentielle, géliturbation, gélifluxion, ruissellement agissent à la fois sur le modelé des versants et sur la formation des sols.

Le couvert végétal est ensuite étudié sous ses aspects floristique, géobotanique et phytosociologique. L'étage alpin et ses subdivisions étant définies, deux toposéquences d'orientation différente sont analysées du point de vue des conditions du milieu et des groupements végétaux que l'on s'efforce de relier aux associations, alliances et classes phytosociologiques antérieurement décrites.

Ces divers facteurs expliquent la différenciation d'une grande variété de conditions stationnelles et microsta-

tionnelles dans un massif élevé faisant charnière entre les montagnes médio-européennes et la haute montagne méditerranéenne.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des *caractères physiques et chimiques des sols alpins*, qui résultent tous ici de l'altération de roches-mères calcaires. Après une description détaillée des profils, sont analysés successivement les caractères de texture, pédoclimat (granulométrie, porosité, régimes hydriques, températures des sols) dans les diverses situations.

Le milieu chimique est analysé sous l'angle des constituants minéraux, de la composition de la matière organique et des types d'humus. A noter, l'importance de l'aluminium libéré à partir des silicates sous l'influence des acides organiques fixés, l'humification relativement bonne surtout aux expositions chaudes et la prédominance du moder alpin parmi les types d'humus.

Ces considérations conduisent à un essai de classification originale des sols alpins; les équivalences avec la nomenclature des classifications récentes des sols (française et américaine) sont fournies dans un tableau.

Le troisième chapitre est consacré à la *microbiologie* de ces sols alpins. Observations et expérimentation « in situ », combinées avec des manipulations en laboratoire réalisées immédiatement après prélèvement, ont permis d'établir en premier lieu la composition de la microflore des divers sols alpins. Celle-ci n'est guère différente de celle des sols de basse altitude : tous les grands groupes y sont représentés et montrent une évolution saisonnière comparable à celle des sols de plaine (ralentissement de l'activité par les basses températures, la sécheresse...); mais la microflore des sols alpins conserve une activité élevée en dépit des basses températures (psychro-tolérance).

Ensuite sont analysés :

- l'activité de cette microflore dans la décomposition de la matière organique fraîche et de l'humus, son activité respiratoire (mesure du CO_2 dégagé, résultat de la minéralisation du carbone organique), la cellulolyse, l'amylolyse, les activités enzymatiques et les acides organiques simples des solutions du sol;

- les principales fonctions du cycle de l'azote : protéolyse, acides aminés du sol, ammonification, nitrification, activité uréasique, dénitrification;
- les transformations des composés phosphorés et soufrés;
- les processus d'humidification.

L'activité microbiologique concerne la dégradation des éléments labiles (hexoses, hémi-cellulose, amidon, protéines) fournis en abondance par la végétation herbacée. Les éléments résistants (cellulose, lignine) sont peu attaqués, surtout dans les horizons inférieurs, froids et mal aérés. On assiste à un certain gaspillage des métabolites intermédiaires : acides organiques et acides aminés sont abondants dans les solutions du sol parce qu'ils sont peu utilisés. L'humidification de la matière organique est bonne, du moins en surface et dans les stations les plus chaudes où la microflore est plus active. Dans les horizons froids et anaérobies, les acides humiques, peu abondants et à gros poids moléculaire, semblent provenir d'une simple dégradation de la lignine plutôt que de synthèses microbiennes.

Le quatrième chapitre, intitulé : *Sol, déterminisme et dynamique des écosystèmes alpins*, réalise une synthèse des approches précédentes. Après avoir défini la part des facteurs édaphiques (texture et stabilité du substrat, influence des propriétés chimiques du sol, influence de l'activité biologique), des facteurs climatiques (exposition et pente, enneigement) et de la dynamique des versants dans la répartition des plantes alpines, il est possible de caractériser écologiquement les groupements phytosociologiques constitués sur une base floristique.

À l'étage alpin le sol apparaît comme un facteur écologique d'une importance égale à celle de l'exposition et de la durée d'enneigement. En milieu périglaciaire, la composition texturale du substrat et sa stabilité sont des facteurs hautement sélectifs; d'autre part, pour les plantes alpines qui s'élèvent peu au-dessus du sol, le pédoclimat détermine en grande partie le phytoclimat. Enfin à partir de la roche-mère calcaire, il est possible de suivre les transformations qui s'opèrent dans la végétation en fonction de l'évolution des propriétés chimiques des sols (calcaires, calciques, acides). Deux tableaux synthétiques représentent l'influence de ces facteurs écologiques dans l'évolution climatique de la végétation aux étages alpin inférieur et supérieur.

Après une bibliographie de 355 titres, l'ouvrage se termine par une liste complète des phanérogames observées au Pic du Midi au-dessus de 2 400 m d'altitude, avec leurs caractères écologiques et géobotaniques, et par les tableaux de relevés des principaux groupements végétaux observés.

G. DUPIAS

André FABRE. — *Etude quantitative de la déprise agricole en région de montagne : application à la commune de Quérigut* (69). Thèse d'Université (Paul Sabatier Toulouse), soutenue le 11 juillet 1977 (Jury : MM. P. Rey, L. Bonnet, J.M. Legay, H. Dé-camps).

Les activités humaines ont longtemps maintenu l'écosystème montagnard dans un état de pseudo-équilibre. Au cours des dernières décennies, l'exode rural a rompu ce pseudo-équilibre. Dès lors, deux questions peuvent retenir l'attention : 1) dans quelle mesure le milieu provoque-t-il une déprise agricole aux divers points de l'écosystème; 2) lorsque la pression humaine a cessé, quels facteurs conduisent à l'instauration d'un nouvel équilibre ?

Ce problème de l'abandon des activités agricoles en montagne est étudié sur la commune de Quérigut en Ariège (3 588 ha). La surface agricole utilisée (54,2 % de la surface utile) y est faible, les exploitations multiples (sur 100 parcelles, un sondage a donné une surface moyenne de 16,6 ares), l'élevage faiblement développé. Aucun chef d'exploitation n'a moins de 35 ans.

Des cartes dressées à partir de photographies aériennes donnent l'état d'occupation des parcelles en 1942, 1952, 1962 et 1972. Sur cette base peuvent être étudiés les taux d'abandon des cultures et des prairies dans l'espace et dans le temps.

L'échantillonnage a consisté en l'extraction aléatoire de 850 parcelles au sein d'un effectif 5 fois plus important. Cet échantillon a ensuite été stratifié à partir des photographies aériennes en buttes (0), thalwegs (1), zones au contact de la montagne (2), surfaces à pente faible (3). Sur chaque strate, divers types d'occupation des sols et d'évolution de cette occupation ont permis de répartir les parcelles en six sous-ensembles. Sept variables explicatives ont enfin été retenues : altitude, pente, distance au village, position topographique, accès direct, accès indirect, énergie.

Sur cette base, des méthodes statistiques inférentielles ont été utilisées pour : 1) dégager l'importance de la déprise agricole en fonction de divers critères, 2) rechercher les variables expliquant l'existence de certains sous-ensembles, 3) modéliser l'évolution du paysage après abandon de parcelles initialement cultivées. Ces méthodes dérivent du schéma général de la décomposition de la variance : analyses uni- et multi-variées de variance, de covariance et analyses discriminantes. Il a également été procédé à des tests d'homogénéité de proportions et de recherche de tendance dans des séries de proportions. Ces méthodes sont présentées et discutées, leur utilisation est justifiée par leur robustesse.

aux écarts aux conditions initiales du modèle théorique.

Les cultures ont été abandonnées de façon plus importante que les prairies. Les raisons diffèrent d'une strate à l'autre : sécheresse dans la strate « buttes » (0) et, au contraire, humidité dans la strate « thalweg » (1), ce qui conduit à la notion de facteur *seuil*. Cette prédominance de l'abandon des cultures traduit finalement la situation beaucoup plus favorable du milieu montagnard pour les activités d'élevage. En fonction du temps, le taux d'abandon varie significativement pour les cultures et les prairies dans les strates « buttes » (0) et « thalwegs » (1), mais non dans la strate « surfaces à pente faible » (3). La pression du milieu est peut-être ressentie par les agriculteurs comme de plus en plus forte au niveau des deux premières strates, mais comme constante au niveau de la dernière.

La comparaison des abandons avant et après 1942 montre que les causes proviennent de la difficulté de travail qui, selon la période considérée, sera l'éloignement du village, la position topographique, la valeur de la pente... Ici est retrouvé de façon numérique le schéma d'une déprise agricole progressant de façon centrifuge depuis le sommet des pentes, les distances les plus éloignées, les altitudes les plus fortes. Ont en outre été précisés les rôles de variables telles que la pente, l'accès direct ou indirect et la non-intervention de la variable énergie dans ce processus. Par ailleurs, à l'intérieur de la strate « butte » (0), la position topographique et la variable énergie déterminent l'abandon des prairies alors que la pente et, secondairement, la situation des cultures par rapport à la voie d'accès interviennent dans l'abandon des cultures.

Une parcelle abandonnée tend à atteindre le stade boisé d'autant plus rapidement qu'elle se trouve à une altitude plus élevée et dans une situation énergétique plus faible. Les analyses discriminantes paraissent être un outil adapté à cette question du devenir des parcelles abandonnées. Les plus grandes difficultés sont d'ordre écologique et cartographique, le modèle à rechercher variant constamment dans le temps.

Ces diverses observations sont utilisées dans une partie prospective pour proposer des axes de travail. L'intérêt d'une exploitation des photographies aériennes à l'aide de méthodes inférentielles est à souligner. L'utilisation de méthodes de statistique non-paramétrique est envisagée, (utilisation de variables ordinales et qualitatives). Les aspects dynamiques de l'évolution vers la forêt pourraient donner lieu à une modélisation. Celle-ci permettrait de déterminer les meilleures conditions d'un équilibre entre les vocations touristiques, forestières et pastorales des régions de montagne.

H. DECAMPS.

Lydie ROQUES. — **Etude quantitative et qualitative des fourmis du groupe *Formica rufa* de la Cerdagne et du Capcir.** Thèse 3^{me} cycle, Université Paul Sabatier Toulouse, 1975.

Ce mémoire est une étude monographique des fourmis du groupe *Formica rufa* de la Cerdagne et du Capcir. La première partie est consacrée à l'inventaire faunistique et à l'étude de la répartition biogéographique des fourmis de trois régions types : Font-Romeu, La Matte, Osséja. *Formica lugubris* apparaît comme l'espèce dominante dans les biotopes considérés.

Ensuite, une étude morphologique comparée des espèces du groupe *Formica rufa*, réalisée au moyen d'un microscope électronique à balayage, a permis de mettre en évidence de nouveaux critères distinctifs pour la détermination des espèces par l'étude des ouvrières.

Rappelons que selon les dernières mises au point de Betrem, le groupe *Formica rufa* se compose des 8 espèces suivantes : *Formica rufa* L., *Formica polycetena* Forst., *Formica lugubris* Zeit., *Formica aquilonia* Yarr., *Formica pratensis* Retz., *Formica truncorum* F., *Formica nigricans* Em., *Formica uralensis* Rusky.

Enfin dans la dernière partie, les trois régions types précédemment définies ont été étudiées au point de vue de leur densité en fourmis et de la localisation des colonies. On a ainsi établi une corrélation entre le peuplement myrmécologique (nombre et puissance des colonies) et l'action dégradante des activités humaines sur le milieu forestier montagnard.

Ce travail constitue une approche très originale de quelques uns des nombreux problèmes écobologiques des fourmis du groupe *Formica rufa*, dont le rôle d'indicateur biologique de dégradation apparaît ainsi clairement.

Cl. TOROSSIAN.

Louis DEHARVING. — **Contribution à l'étude biogéographique et écologique des Collemboles cryophiles.** Thèse 3^{me} cycle, mention Biologie Animale, Entomologie, Université Paul Sabatier Toulouse, Janvier 1975.

Près de 150 prélèvements de sol et de mousses ont été effectués dans l'étagé alpin des massifs montagneux d'Europe occidentale méditerranéenne, des Alpes savoyardes aux chaînes andalouses.

Cette prospection dans la zone des névés persistants a permis de montrer l'originalité de ces biotopes dont les peuplements ne sont en rien appauvris par les conditions écologiques rigoureuses. 130 espèces de

Collemboles sont été dénombrées, dont 43 (33 %) sont nouvelles pour la Science et appartiennent le plus souvent à des lignées très anciennes dont l'analyse éclaire d'un jour nouveau l'histoire du peuplement de certains massifs. Les milieux froids de haute montagne apparaissent en effet comme des zones refuges jalonnant les aires de dispersion d'un groupe zoologique très ancien, et à cet égard, ils peuvent être considérés comme des réserves écologiques de « fossiles vivants », au même titre que certains autres milieux (grottes, fond des lacs...) : la présence de *Triacanthella frigida* dans les Pyrénées centrales en est l'exemple le plus démonstratif (l'espèce est apparentée à des formes des Andes du Sud, des Appalaches et de la Nouvelle Zélande).

De la comparaison des divers massifs étudiés, M. Deharveng tire des conclusions originales sur les processus de dispersion de certains genres et familles. Au sein de ceux-ci, les potentialités d'endémicité vont multiplier les types biogéographiques et écologiques aboutissant à un complexe de vicariances qui montre quatre foyers nets : Cordillère Cantabrique, Pyrénées centrales et occidentales, Pyrénées orientales, Alpes méridionales.

Pour des raisons très différentes (action des facteurs glaciaires d'une part, des facteurs post-glaciaires d'autre part), la Savoie et la Sierra Nevada montrent par contre un appauvrissement très net des faunes cryophiles, malgré des conditions de vie actuelles identiques à celles qui règnent dans les autres massifs.

L'utilisation de l'analyse des Correspondances appliquée à un biotope précis (cirques froids de la crête d'Estaranhe, dans les Pyrénées centrales) met en évidence l'action combinée de différents facteurs écologiques dans la dispersion des espèces à grande échelle : gradients thermiques et hydriques eux-mêmes complexes, structure et position dans l'espace des relevés... Ces facteurs très fortement intriqués agissent sur un éventail spécifique écologiquement très ouvert et conduisent à la formation de synusies que l'utilisation de méthodes statistiques fait clairement apparaître.

P. CASSAGNAU.

J.Y. PUJOL. — Quelques aspects de la biologie des Drusinae (Trichoptères) et influences humaines sur un cours d'eau de montagne. Thèse 3^{ème} cycle. Université Paul Sabatier Toulouse, 14 novembre 1975. (Jury : MM. E. Agellier, P. Rey, C. Berthélémy, H. Décamps).

Les Trichoptères Limnephilidae racleurs de substrat ont d'abord été étudiés afin de mieux comprendre les réactions des larves aux perturbations humaines dans

les ruisseaux de montagne. Deux types d'espèces à comportement opposé ont été considérés : les Drusinae (plus particulièrement *Drusus rectus*), espèce de sources et ruisseaux à eau claire d'une part, et d'autre part *Allogamus auricollis*, espèces présentant de spectaculaires proliférations en présence de fortes charges organiques.

Des mises au point sur la systématique, la biologie et la dynamique de population de ces espèces composent la première partie du mémoire. L'étude morphologique a conduit à préciser les caractères larvaires de *Drusus rectus*, à décrire un genre jusqu'alors inconnu à l'état de larve (*Anomalopterygella*) et à proposer une clef de détermination des larves de Drusinae pyrénéens. La durée des cycles vitaux varie en fonction de l'altitude et de l'enneigement. L'origine des variations de densité larvaire et de production d'une cohorte à l'autre peuvent venir de perturbations humaines sur les ruisseaux, mais les conditions météorologiques lors de la séquence nymphes — adultes — pontes sont également à considérer.

Les enseignements précédents ont été appliqués, dans une deuxième partie, à l'étude de la pollution organique de la Lladure, ruisseau du Capcir soumis à une pression touristique saisonnière croissante. L'utilisation d'espèces indicatrices isolées, tout comme celle d'indices biotiques, s'est vite révélée insuffisante pour comprendre les transformations de la biocenose. Aussi une analyse globale de la flore et de la faune a-t-elle été conduite sur ce ruisseau.

Diverses sources d'altération ont été distinguées; elles sont liées à l'emprise touristique. Les teneurs en phosphates et en nitrates varient au cours de l'année selon l'importance des rejets et du ruissellement. Le fond du ruisseau est périodiquement encombré par un feutrage d'algues et de bactéries ainsi que de détritus accumulés. Par suite de l'existence d'eaux froides, bien oxygénées et renouvelées, les réactions du benthos aux activités humaines sont souvent différentes de celles du benthos des ruisseaux de plaine. Les fluctuations sont rapides dans l'espace et dans le temps, sous l'action des activités humaines et des conditions météorologiques. Le Trichoptère *Allogamus auricollis* prolifère au niveau des rejets, ainsi que les oligochètes Naididae et les chironomes *Prodiamesa olivacea* et *Micropsectra bidentata*. Le peuplement en diatomées benthiques montre des évolutions comparables à celles observées en plaine.

H. DECAMPS.

J.M. RICARD et C. ROQUEPLO. — Etude sur la dynamique des populations et les aménagements piscicoles du Rioumajou. Thèse 3^{ème} cycle, Université

Paul Sabatier Toulouse, soutenue le 24 janvier 1976.
(Jury : E. Angelier, L. Bonnet, H. Décamps, R. Latat, R. Brunet).

L'étude de ce ruisseau des Pyrénées Centrales a été entreprise dans le but de déterminer les causes du déséquilibre observé dans les populations de truites *Salmo fario* et de proposer un plan d'aménagement piscicole.

L'exploitation hydroélectrique de la vallée perturbe les conditions de vie dans le ruisseau causant notamment un envasement des frayères. Par ailleurs, l'exploitation de la hêtraie-sapinière (plus de 50 % de la surface du bassin versant) est en expansion, de même que l'installation touristique en été.

Cinq biotopes distincts ont été définis; ils sont inégalement répartis dans les deux secteurs d'étude choisis de part et d'autre d'un barrage, l'un à 1 134 m d'altitude (215 m de long), et l'autre à 1 413 m d'altitude (100 m de long). La température de 7 °C, limite inférieure d'alimentation de la truite n'est dépassée que 5 mois par an dans le premier secteur, et 3 mois par an dans le second. La biomasse d'invertébrés est trois fois plus importante dans le second secteur (680 mg/m²). Seul ce second secteur abrite une population de truites, d'une densité moyenne (1 887 ± 340 individus/ha), de biomasse faible (57,3 ± 11,3 kg/ha) et présentant un défaut de recrutement consécutif aux marnages; cette population subit en outre une forte pression de pêche. Elle ne se maintient que grâce à un potentiel de reproduction élevé (8 œufs/m² en moyenne).

Un aménagement rationnel pourrait consister en l'introduction d'un salmônidé d'eau froide tel que l'omble de fontaine *Salvelinus fontinalis*. La création de ruisseaux pépinières permettrait de fournir des sujets rustiques, des réserves mobiles assurant le maintien et la protection de géniteurs potentiels. Diverses hypothèses sont envisagées pour le secteur situé en aval: mise en réserve, parcours de pêche, alevinage de petites retenues.

L'importance des abris dans les possibilités productrices du cours d'eau est finalement soulignée et discutée sous l'aspect du comportement des individus.

H. DECAMPS.

A. MIR. — Le financement des stations de sport d'hiver. Thèse doctorat droit, Université Sciences Sociales. Toulouse, 1975, 180 p. Ronéo (Jury : MM. VELLAS, ARLANDIS, DESPAX, REY).

L'auteur, utilisant entre autres exemples le cas de la station pyrénéenne de Saint-Lary, étudie les différentes

opérations nécessaires pour réaliser une station de sports d'hiver, examine les moyens de financement et les différents organismes qui peuvent y participer.

En ce qui concerne la maîtrise des sols nécessaires, plusieurs politiques sont possibles, entraînant des coûts très différents : baux de moyenne et longue durée, constitution de syndicats intercommunaux, promesse de vente conclue avec les propriétaires du sol, utilisation des servitudes (décret du 14 novembre 1968), expropriation pour cause d'utilité publique. Le statut des Zones d'Aménagement Différé (Z.A.D.) et des Zones d'Aménagement Concerté (Z.A.C.) permet aux promoteurs de limiter les exigences des vendeurs, mais le coût des indemnités est souvent élevé. Bien entendu, les conflits d'intérêts opposent propriétaires des sols et promoteurs.

Les coûts d'infrastructures (voirie) sont particulièrement élevés dans les stations de haute altitude; ils sont pris en charge le plus souvent par les communes, qui font appel, à leur tour, à des bailleurs de fonds, privés ou publics.

L'établissement de remontées mécaniques constitue l'une des principales dépenses d'établissement et de qualité déterminent l'attrait de la clientèle.

Les moyens de financement proviennent pour partie de différents fonds publics : crédits attribués aux collectivités publiques par les Ministres de l'Intérieur, de l'Agriculture, de l'Équipement; crédits spécifiques du Fonds de Développement économique et social, du Fonds d'Action locale, Fonds d'intervention pour l'aménagement du territoire (F.I.A.T.). D'autres bailleurs de fonds peuvent intervenir : Caisse d'Aide à l'Équipement des Collectivités Locales, Crédit Agricole, Caisse des Dépôts et Consignations, Crédit Foncier.

Ces crédits peuvent être complétés, relayés ou remplacés par des prêts de bailleurs de fonds privés : banques, mutuelles de crédit, assurances, caisses de retraites etc. Le taux d'intérêt est plus élevé que celui des investissements publics, mais les conditions d'attributions plus souples.

Les bailleurs de fonds, quels qu'ils soient, s'assurent des ressources des collectivités locales qui empruntent et prévoient un plan de financement.

L'extrême diversité des situations et des organismes susceptibles d'entrer en jeu ouvre aux promoteurs publics ou privés, un choix très étendu de politiques de financement, qui doivent tenir compte aussi de la conjoncture économique et financière.

G. SICARD



Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal

EDITIONS DU CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, quai Anatole France 75 - Paris-VII C.C.P. Paris 9061 11 Tél. : 555 26 70

Programme Biologique International

ECOLOGIE DU SOL

**NOUVEAUX DOCUMENTS
POUR UNE ÉTUDE INTÉGRÉE
EN ÉCOLOGIE DU SOL**

Le troisième volume de la série « Ecologie du Sol » traite essentiellement de problèmes microbiologiques, botaniques et climatiques rencontrés sur les stations du programme de la R.C.P 40 du C.N.R.S. Cinq thèmes sont successivement abordés :

- 1) Principes de méthodologie en microbiologie du sol;
- 2) Mesure de la fixation de l'azote moléculaire en forêt;
- 3) Etude écologique de la strate muscinale dans une pinède sur calcaire lusitanien en Lorraine;
- 4) Décomposition naturelle et expérimentale des feuilles de *Brachypodium pinnatum* P. B. microécologie et micromorphologie étudiées à l'aide des microscopes électroniques;
- 5) Dynamique et bilan de l'eau des sols de deux écosystèmes méditerranéens à chêne vert.



Ouvrage 21 x 27, 288 pages, 80 figures in-texte,
2 dépliant hors-texte, 1 planche hors-texte, relié.

PRIX : 91 F

15, quai Anatole-France 75700 PARIS
C.C.P. PARIS 9061-11

Tél. : 555.26.70

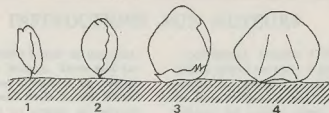


Fig. 14. — Passage de la fixation pédonculaire à l'appui sur le substrat chez les Brachiopodes au cours du développement individuel.

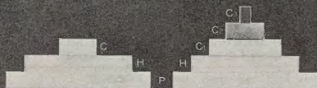
PALEOÉCOLOGIE

par Jean Roger

COLLECTION D'ÉCOLOGIE 10

Paléoécologie

J. ROGER



MASSON 

Les quelques dernières années démontrent largement qu'un vaste mouvement se précise et s'accélère simultanément dans un grand nombre de secteurs de la biologie, de l'écologie, de la géologie et évidemment de la paléontologie.

Cet ouvrage dégage, au moment présent, les principes, les concepts et les méthodes qui paraissent se dessiner pour cette très jeune discipline scientifique qu'est la paléoécologie. Vise à démontrer dans quelles directions une véritable recherche paléoécologique devrait se développer.

Collection d'Ecologie, n° 10
176 pages, 39 figures, broché
snolin, 98 F.

Pour commander l'ouvrage **PALEOÉCOLOGIE** par J. Roger, 98 F (prix au 1.10.77) ou recevoir une documentation, adressez-vous à votre libraire ou retournez ce bon accompagné de votre règlement aux Editions Masson, 120 bd Saint-Germain, 75280 Paris cedex 06 (Commande par correspondance : joindre 5 F de participation aux frais de port).

Nom et adresse _____

MASSON 

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Seuls les membres de la Société à jour de leur cotisation peuvent publier dans le Bulletin. Dans tous les cas les articles proposés seront soumis à un comité de lecture composé par le Conseil de la Société d'Ecologie. Sauf dérogation spéciale les articles ne devront pas dépasser 20 pages imprimées. Les clichés photographiques sont à la charge des auteurs.

Les manuscrits, dactylographiés en double interligne au recto seulement de feuilles numérotées, seront présentés sous leur forme définitive, et rigoureusement soignés dans le fond comme dans la forme. Les noms propres devront être en capitales ou soulignés d'un double trait, les noms scientifiques latins soulignés d'un seul trait. Le titre du manuscrit devra être suivi du prénom et du nom du ou de chacun des auteurs, ainsi que de l'adresse du laboratoire dans lequel le travail a été effectué. Les auteurs éviteront, sauf nécessité impérieuse, les abréviations autres qu'usuelles; les notes infrapaginales, exceptionnelles et courtes, seront numérotées de 1 à n du début de l'article à la fin. Les références bibliographiques seront groupées à la fin du texte dans l'ordre alphabétique des noms d'auteurs; elles devront être conformes au modèle suivant :

De BACH (P.) et SUNDBY (R.A.), 1963. — Competitive displacement between ecological homologues. *Hilgardia*, 34, p. 105-166.

Le titre des périodiques sera abrégé d'après les règles internationales de nomenclature (*World list of scientific publications*, 4^e édition). Tout article de plus de 4 pages imprimées sera précédé d'un résumé en anglais ou en allemand. Ce résumé sera conforme au Code du bon usage en matière de publications scientifiques (UNESCO/NS/177).

Les dessins, exécutés à l'encre de Chine sur papier calque, bristol ou carte à gratter, ainsi que les photos, devront être groupés de façon à éviter le plus possible des frais de mise en page. La réduction souhaitée sera indiquée sur chaque figure. On évitera de fournir des données chiffrées à la fois sous forme de tableaux et de graphiques. Les manuscrits qui ne seront pas présentés suivant ces normes seront renvoyés à leurs auteurs.

Un jeu d'épreuves accompagnées des illustrations est envoyé aux auteurs qui devront retourner l'ensemble après correction et indication de l'emplacement souhaité pour les figures, au plus tard dans un délai de dix jours. La société offre gratuitement 25 tirés à part. Les auteurs qui en désirent davantage joindront un bon de commande en retournant leurs épreuves. Ils régleront la facture directement à l'imprimeur. Les analyses d'ouvrages, nouvelles et les rubriques « Activités de la Société » ne peuvent être fournies sous la forme de tirés à part.

Les membres de la Société peuvent publier dans le Bulletin des travaux originaux, et des mises au point sur des sujets se rapportant aux divers domaines de l'écologie générale et appliquée. Les manuscrits doivent être envoyés soit au Secrétaire du Bulletin, soit de préférence à un membre du Conseil de la spécialité choisie (cf. page de couverture la liste des membres du conseil et leurs spécialités) qui, après lecture, fera parvenir le manuscrit au Secrétaire du Bulletin. Les analyses d'ouvrages ou d'articles de revues suffisamment importants seront également les bienvenus. Dans ce dernier cas il est recommandé de prendre contact au préalable avec le Secrétaire du Bulletin pour éviter les doubles emplois.

ABONNEMENTS 1977

Un an	Particuliers	France : 110 F	Etranger : 120 F
	Collectivités	France : 180 F	Etranger : 200 F

Etablis le titre de paiement au nom de : SPPIF, 120, boulevard Saint-Germain, 75280 PARIS CEDEX 06

Pour les pays suivants s'adresser à :

U.S.A.	Masson Publishing USA, Inc., 14 East, 60th Street, New York, N.Y. 10022;
ESPAGNE	Toray Masson Editores, Balmes 151, Barcelona 8;
ITALIE	Etni S.p.a., Via Pascoli 55, 20133 Milano;
ALLEMAGNE	Kunst und Wissen, Wilhelmstrasse 4, Postfach 46, 7000 Stuttgart (R.F.A.);
SUISSE	Crispas s.a., 55, boulevard de Pérolles, CH 1700 Fribourg;
BELGIQUE	L.C.L.S., rue Otlet 44, B 1070 Bruxelles;
CANADA	Somabec, 2475 Sylva Caplin, St-Hyacinthe, Québec.

MASSON, Editeur : Paris, New York, Barcelone, Milan

à Paris, 120, boulevard Saint-Germain, 75280 Paris Cedex 06 — Téléphone : 329.21.60

Numéros de l'année et volumes antérieurs :

MASSON Services, 15, rue de Savoie, 75006 Paris — Tél. : 325-74-73 et 325-74-95.

Published quarterly by Masson, 120, boulevard Saint-Germain, Paris (France)

Annual subscription price : 120 F.

Second-class postage paid at Jamaica, N.Y. 11431.

Air freight and mailing in the U.S. by Publications Expediting Inc., 200 Meacham Ave. Elmont, N.Y. 11003.

